

Aus der Klinik für Kieferorthopädie,
Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar
Direktor: Univ.-Prof. Dr. Jörg Lisson

**Vestibuläre alveoläre Knochendefekte in der 3D-Darstellung des
Schädels bei Erwachsenen ohne kieferorthopädische Behandlung**

*Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der
Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES
2015*

vorgelegt von Carolin Christine Hähnel

geboren am 20.12.1983 in Saarlouis

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	4
1.1	Summary	5
2	Einleitung.....	6
2.1	Einführung und Fragestellung.....	6
2.2	Grundlagen.....	7
2.2.1	Aufbau des Zahnes und des Zahnhalteapparates.....	7
2.2.2	Ätiologie und Formen alveolärer Knochendefekte	9
2.2.3	Bildgebende diagnostische Verfahren.....	13
3	Material und Methode.....	16
3.1	Material	16
3.2	Methode.....	17
3.2.1	Einschlusskriterien	17
3.2.2	Auswertung des Untersuchungsmaterials	17
3.2.2.1	Vermessung der Dehiszenzen und Fenestrationen.....	17
3.2.2.2	Vermessung der Inklinatation	19
3.2.3	Messpunkte.....	20
3.3	Literaturrecherche	21
3.4	Statistische Analyse und graphische Darstellung.....	22
4	Ergebnisse.....	23
4.1	Deskriptive Analyse	23
4.1.1	OK1/NL-Winkel und Differenz zum Richtwert von 107°	23
4.1.2	Dehiszenzen im OK und UK.....	24
4.1.2.1	Dehiszenzen OK.....	24
4.1.2.2	Dehiszenzen UK.....	25
4.1.3	Fenestrationen im OK und UK.....	26
4.1.3.1	Fenestrationen OK.....	26

4.1.3.2	Fenestrationen UK.....	27
4.2	Einfluss der Patientencharakteristika auf die Dehiszenz.....	28
4.2.1	Einfluss des Alters.....	28
4.2.2	Einfluss des Geschlechts	30
4.3	Vergleich der Zahngruppen hinsichtlich der Dehiszenz	31
4.3.1	Dehiszenzen OK und UK.....	31
4.4	Auswirkung des OK-Frontzahninklinationswinkels (OK1/NL-Winkel) auf die Dehiszenz.....	32
4.4.1	Dehiszenzen OK und UK.....	32
4.4.2	Dehiszenzen OK.....	33
4.4.3	Dehiszenzen UK.....	34
5	Diskussion.....	35
5.1	Diskussion über Auswahl des Materials und der Methodik.....	35
5.2	Diskussion der Ergebnisse	36
5.2.1	Dehiszenzen, Fenestrationen und der OK1/NL-Winkel	36
5.2.1.1	Dehiszenzen	36
5.2.1.2	Fenestrationen	39
5.2.1.3	OK1/NL-Winkel.....	40
5.3	Schlussfolgerung	41
6	Anhang.....	43
7	Literaturverzeichnis	49
8	Abbildungsverzeichnis.....	55
9	Danksagung.....	57

1 Zusammenfassung

Dehiszenzen und Fenestrationsen sind Knochendefekte vestibulär am Alveolarfortsatz. In der vorliegenden Studie wurde die Länge von Dehiszenzen und Fenestrationsen an den Zähnen 16–46 bei Erwachsenen ohne kieferorthopädische Behandlung anhand von digitalen Volumentomographien (im Folgenden DVT bezeichnet) untersucht. Dabei wurde aus den einzelnen DVT eine 3D-Darstellung erstellt. Mittels dieser Darstellung wurde die Länge der vestibulären alveolären Knochendefekte vermessen. Das Ziel war eine Überprüfung möglicher Zusammenhänge zwischen diesen Knochendefekten und den Zahngruppen. Weitere Analysen befassten sich mit der Korrelation zwischen den Knochendefekten und dem Alter, dem Geschlecht und dem OK-Frontzahninklinationswinkel der Testpersonen.

Das aus 134 DVT-Bildern bestehende Untersuchungsgut wurde aus einem Pool von 1510 DVT-Bildern gewonnen. Diese stammten aus einer kieferorthopädischen-oralchirurgischen Praxis und wurden retrospektiv genutzt. Dabei wurden 34,3% der 134 DVT-Aufnahmen von männlichen Personen und 65,7% von weiblichen Personen angefertigt. Das Durchschnittsalter betrug $40 \pm 12,4$ Jahre. Die Patienten wurden nach Vorgaben des Herstellers im Stehen und mittels Lichtsensor in den digitalen Volumentomographen positioniert. Dies führte zur Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit aller DVT-Bilder. Mittels der Software Osirix wurden die Dehiszenzen und Fenestrationsen im DVT vermessen. Zur Vermessung des OK-Frontzahninklinationswinkels (OK1/NL) wurden die DVT-Bilder in zweidimensionale Lateralbilder umgewandelt. In die jeweilige statistische Auswertung wurden nur die DVT-Bilder einbezogen, bei denen die Zähne, die für diesen Ergebnisteil benötigt wurden, auch Messwerte aufwiesen. Damit wurde eine Homogenität und Vergleichbarkeit der statistischen Auswertung geschaffen.

Im Rahmen der statistischen Auswertung stellte sich heraus, dass im Mittel die längsten Dehiszenzen im Oberkiefer und die längsten Fenestrationsen im Unterkiefer auftraten. Bei Betrachtung der Zahngruppen wiesen die OK-Eckzähne, die OK-Molaren, die UK-Prämolaren sowie die UK-Eckzähne die längsten mittleren Dehiszenzen auf. Die im Mittel längsten Fenestrationsen wurden an den OK-Eckzähnen und den UK-Eckzähnen gemessen. Bezüglich des Geschlechts wiesen die Frauen sowohl in beiden Kiefern zusammen als auch bei der Einzelbetrachtung der beiden Kiefer im Mittel eine längere Dehiszenz auf als die Männer. Dieser Unterschied war nicht signifikant. Jedoch ließ sich eine signifikante Veränderung in Verbindung der Dehiszenzen mit dem Alter beweisen. Dabei vergrößerte sich die mittlere Dehiszenz bei steigendem Alter. Die Überprüfung des Zusammenhangs zwischen der Länge der Dehiszenzen und dem OK-Frontzahninklinationswinkel ergab keinen

signifikanten Unterschied. Allerdings war auffällig, dass bei proklinierten OK-Frontzähnen die im Mittel längsten Dehiscenzen sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer auftraten. Die in dieser Studie präsentierten Erkenntnisse sollten bei jeder kieferorthopädischen Behandlung berücksichtigt werden, da sich dadurch das Risiko einer Entstehung oder Vergrößerung eines alveolären Defektes minimieren lässt.

1.1 Summary

Dehiscence and fenestration are vestibular bone defects at the alveolar process. In the present study, the dehiscence and fenestration lengths - of adults without orthodontics treatment were analyzed using data obtained from digital volume tomography (DVT). From each dataset, a 3-D representation was generated. The length of the vestibular alveolar bone defect was measured by this representation. The aim of the study was to test possible correlations between these bone defects and dental groups. Additionally, correlations between the bone defects and age, gender and maxillary inclination angle of the test persons were also tested.

The evaluated 134 DVT images were extracted from a pool of 1510 DVT images. Those were provided by a dentistry practice specialized in orthodontics and oral surgery. The data were used only retrospectively. 34.3% of these 134 DVT images were taken from male persons, 65.7% from female persons. The average age was 40 ± 12.4 years. The patients were positioned in the digital volume tomograph according to the instructions of the manufacturer, i.e. standing and using a light sensor. Thus the reproducibility and comparability of the DVT images was obtained. Dehiscences and fenestrations were extracted from the DVT images using the software OsiriX. For measuring the inclination angle with the maxilla (OK1/NL), the DVT images were transformed into two-dimensional lateral images using the software OnDemand3D. Only those DVT images were used for a specific statistical evaluation for which measurement values for teeth used in the respective evaluation were available. Thus, homogeneity and comparability of the statistical evaluation was assured.

The statistical evaluation showed that on average the largest dehiscences appear in the maxilla whereas the largest fenestrations manifest in the mandible. Regarding the dental groups, maxillary canines, maxillary molars, mandibular premolars and mandibular canines exhibit on average the largest dehiscences. The highest average values for fenestrations were measured for canines (maxillary and mandibular). For female patients, larger dehiscences were measured on average than for male patients, but this difference was statistically not significant. There is, however, a significant change of dehiscences with respect to the age of the patients. The average size of the dehiscence increases with age. A correlation of the size

of the dehiscences and the inclination angle with the maxilla could not be proven. It was observed, however, that the largest dehiscences (mandibular and maxillary) were found for protruding maxillary incisors.

The results of this study should be considered prior to beginning any orthodontics treatment since they may help to minimize the risk of onset or increase of an alveolar defect.

2 Einleitung

2.1 Einführung und Fragestellung

Unter Knochendefekten am Alveolarfortsatz versteht man Dehiszenzen und Fenestrationen. Eine der ersten Forschungsarbeiten zu diesem Thema stammt von DAVIES *et al.*. Darin wurde eine Dehiszenz als solche bezeichnet, wenn mindestens 4 mm Knochen vom Alveolarkamm bis zum approximalen Knochen fehlen. Eine Fenestration liegt vor, wenn der Alveolarknochen an der Zahnwurzel einen Defekt aufweist, dieser aber nicht bis zum koronalen Alveolarrand reicht [8] [68]. HAUSMANN *et al.* bezeichneten 1991 den Abstand zwischen Alveolarknochen und der Schmelz-Zement-Grenze als normal, wenn er 0,4–1,9 mm nicht überschreitet [21]. Beide Definitionen bildeten die Grundlage für verschiedene Studien über das Vorkommen von alveolären Knochendefekten. Diese bezogen sich auf unterschiedliche Volks- [11] [41], Alters- und Geschlechtergruppen sowie ihre Verteilung in Oberkiefer und Unterkiefer und an den einzelnen Zähnen [42] [8] [11] [74] [77] [41] [26] [68] [30]. Auch über die Ätiologie wurde in verschiedenen Studien bereits berichtet. Dabei wurden die Auswirkungen von kieferorthopädischen Behandlungen [10] [2] [84] [19] [83] [15] [82] [67] [55] [44] [72] [27] [3], parodontale und endodontische Schäden, okklusale Attrition und okklusales Trauma als ursächlich benannt [73] [28]. Weiterhin wurden unterschiedliche Knochendicken, Entwicklungsanomalien sowie unterschiedliche Zahngrößen und Zahnpositionen als Ursache von alveolären Knochendefekten betrachtet [9] [18] [34] [48] [57] [13] [86]. Die Länge alveolärer Knochendefekte von nicht kieferorthopädisch behandelten Erwachsenen und ihre Bedeutung für eine kieferorthopädische Behandlung wurden in der Literatur allerdings noch nicht beschrieben. Die meisten der genannten Studien basieren auf der Auswertung von getrockneten menschlichen Schädeln. Es gibt nur wenige Studien, in denen das Vorkommen von alveolären Knochendefekten anhand von dreidimensionalen Bildern evaluiert wurde. Eine neue Studie von ISING *et al.* belegt, dass Dehiszenzen durch die 3D-Darstellung mittels digitaler Volumentomographie genauestens vermessen werden

können [25]. Ausgehend von den genannten Tatsachen zielt die vorliegende Studie darauf ab, die Länge der alveolären Knochendefekte von kieferorthopädisch unbehandelten Erwachsenen anhand von DVT-Bildern zu vermessen. Zusätzlich sollen die gemessenen Längen auf mögliche Zusammenhänge mit den Zahngruppen, dem Alter, dem Geschlecht und dem OK-Frontzahninklinationswinkel überprüft werden.

Es wurde folgende Nullhypothese aufgestellt:

„Der Alveolarfortsatz weist bei kieferorthopädisch unbehandelten Erwachsenen vestibulär alveoläre Knochendefekte auf.“

2.2 Grundlagen

2.2.1 Aufbau des Zahnes und des Zahnhalteapparates

Der Zahn besteht aus Zahnschmelz, Dentin und Pulpagewebe (Abb. 2.1) [35].

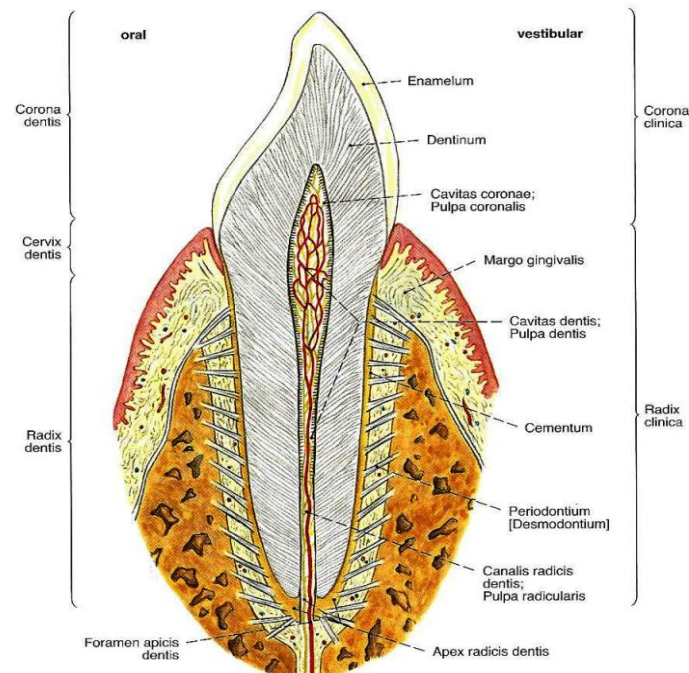


Abb. 2.1: Zahnaufbau (Putz R, Pabst R (2004) Sobotta)

Der Zahnhalteapparat, das Parodont, besteht aus vier verschiedenen Hart- und Weichgeweben:

- Gingiva
- Parodontales Ligament (Desmodont)
- Wurzelzement
- Alveolarknochen (Abb. 2.2)

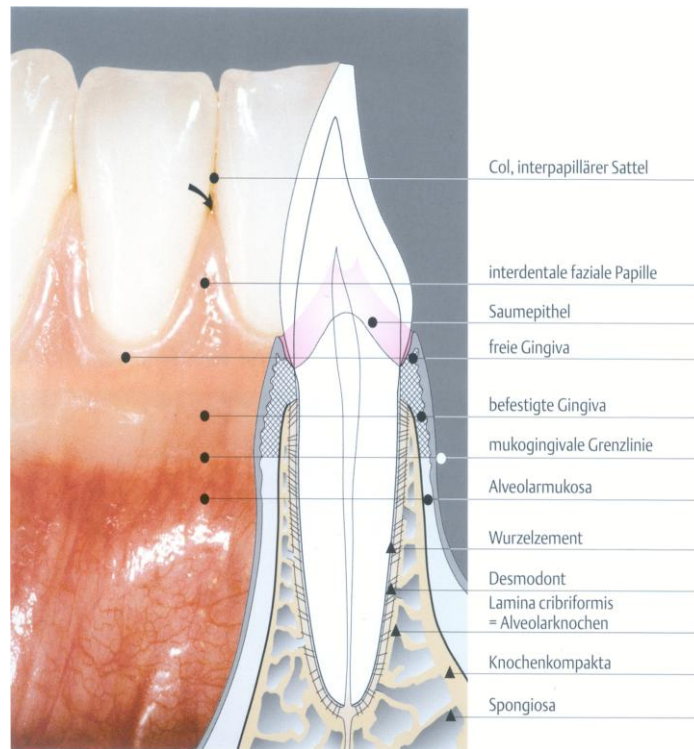


Abb. 2.2: Parodontale Strukturen (Wolf HF, Rateitschak-Plüss EM, Rateitschak KH (2003) Farbatlanten der Zahnmedizin 1 Parodontologie)

Der Alveolarfortsatz des Ober- und Unterkiefers ist eine zahnabhängige Struktur. Osteoblasten und Osteoklasten ermöglichen eine ständige Remodellation des Knochens. Dadurch nimmt das Knochenwachstum mit Bildung der Zähne und während des Zahndurchbruchs zu. Bei Zahnverlust kommt es hingegen zu einer Atrophie des Knochens. Man unterscheidet drei verschiedene Strukturen des Alveolarfortsatzes:

- der eigentliche Alveolarknochen (Lamina cribriformis)
- die Spongiosa
- die Kompakta (Abb.2.2)

Die äußere Kompakta bedeckt den Alveolarfortsatz, welcher am Eingang der Alveole in die Lamina cribriformis übergeht. Zwischen der Kompakta und dem Alveolarknochen liegt die Spongiosa. Im marginalen Bereich vereinigen sich Alveolarknochen und Kompakta zum alveolären Knochenkamm. In diesem Bereich ist der Alveolarfortsatz, besonders fazial, hauchdünn und weist keine Spongiosa mehr auf [20] [40].

2.2.2 Ätiologie und Formen alveolärer Knochendefekte

Vertikale Knochendefekte können in Relation zu den befallenen Zähnen verschiedene Formen aufweisen, die sich folgendermaßen definieren lassen (Abb. 2.3):

- 3-Wand Knochentasche:
Begrenzt durch eine Zahnwand und drei Knochenwände.
- 2-Wand Knochentasche, interdentaler Krater:
Begrenzt durch zwei Zahnwände und zwei Knochenwände, eine fazial, eine oral.
- 1-Wand Knochentasche:
Begrenzt durch zwei Zahnwände, eine Knochenwand fazial oder oral und Weichgewebe.
- Kombinierte Knochentasche, schlüsselförmiger Defekt:
Begrenzt durch mehrere Wände eines Zahns und des Knochens. Der Defekt läuft um den Zahn herum [85].

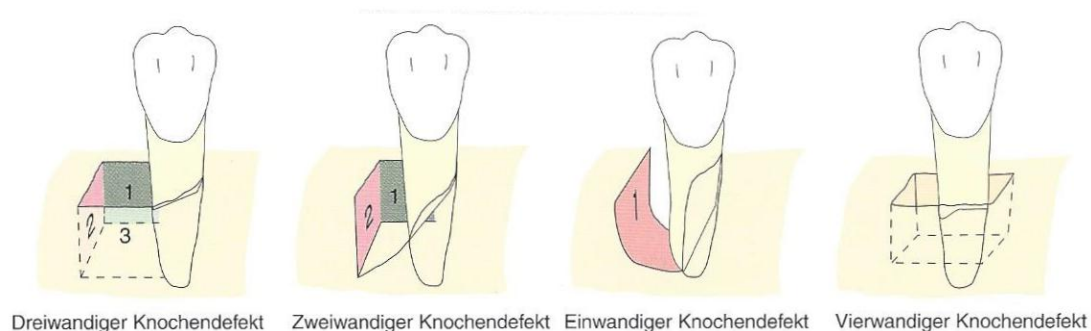


Abb. 2.3: Arten von Knochentaschen (Sato N (2009) Parodontalchirurgie Klinischer Atlas)

Dehiszenz und Fenestration sind demnach eine 3-Wand Knochentasche, wobei sich die begrenzende Zahnwand vestibulär befinden muss. Ein Knochendefekt wird als Dehiszenz bezeichnet, wenn die vestibuläre Knochenbedeckung unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze liegt [21] [62]. Bei der Fenestration liegt nur ein umschriebener Bereich frei (Abb. 2.4) [40]. Klinisch weisen Zähne mit solch einem Knochendefekt häufig sogenannte Rezessionen auf [5], die von der American Academy of Periodontology 1992 als Verlagerung des marginalen Gingivarandes apikal zu der Schmelz-Zement-Grenze definiert wurden. Die Rückbildung des Parodonts geschieht laut KASSAB *et al.* meistens auf der bukkalen Seite des Zahnes [30]. Wie KÄLLESTÅL und UHLIN 1992 feststellten, ist dieser Rückgang häufig auf die Morphologie des bukkalen Alveolarknochens bei entzündungsfreiem

Parodont zurückzuführen [29]. DAVIES *et al.* bestätigten, dass sowohl gingivale Rezessionen als auch Dehiszenzen und Fenestrationsen mit steigendem Alter zunehmen [8]. TENENBAUM *et al.* fanden in ihrer Studie heraus, dass das Auftreten von gingivalen Rezessionen in einem Alter von 19 bis 26 Jahren 76% betrug [74]. KASSAB *et al.* zeigten, dass bei 50% der 18- bis 64-jährigen und bei 88% der über 65-jährigen gingivale Rezessionen auftraten [30]. LÖE *et al.* vertieften diese Studie mittels einer norwegischen Gruppe von 15- bis 50-

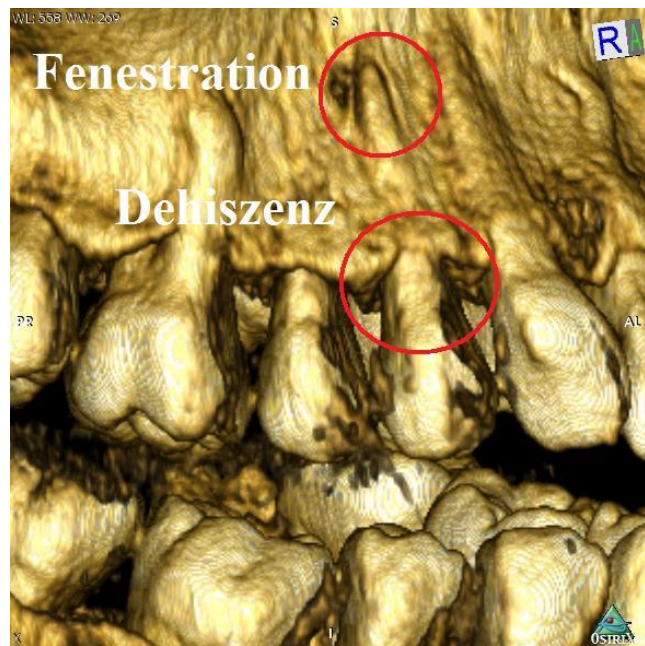


Abb. 2.4: Darstellung der Knochendefekte Dehiszenz und Fenestration

jährigen und fanden heraus, dass 60% der bis 20-jährigen, 70% der über 30-jährigen und 90% der über 50-jährigen Rezessionen aufwiesen [41]. Fenestrationsen und Dehiszenzen kommen in ihrer Gesamtheit betrachtet annähernd gleich häufig vor [77] [68], wobei Dehiszenzen vermehrt im Unterkiefer, Fenestrationsen dagegen vermehrt im Oberkiefer auftreten [77]. Bei Betrachtung der einzelnen Zähne weisen die Eckzähne sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer die meisten Dehiszenzen und Fenestrationsen auf [26]. Sowohl DAVIES *et al.* als auch RUPPRECHT *et al.* und EDEL fanden heraus, dass Fenestrationsen häufig an den oberen Molaren und an den unteren seitlichen Schneidezähnen vorkommen [8] [11] [68]. Dehiszenzen dagegen kommen häufig an den unteren ersten Prämolaren und den ersten oberen Molaren vor [8] [11] [68].

Folgende Faktoren sind nachweislich Ursachen für vestibuläre Knochendefekte und gingivale Rezessionen [33] [6]:

1. schlechte Mundhygiene
2. die Anwesenheit spezifischer Mikroorganismen
3. mechanische Reize
4. Zahnfehlstellungen
5. kieferorthopädische Behandlungen.

Zu 1. und 2.:

Bereits 1965 konnten LÖE *et al.* zeigen, dass die Anwesenheit von bakteriellen Belägen eine notwendige Voraussetzung für die Entstehung einer Gingivitis ist. Allerdings ist die Quantität der Plaque ausschlaggebend für die parodontale Erkrankung [42]. LINDHE *et al.* belegten folgende überwiegend anzutreffende Kausalkette: Die Anwesenheit von Plaque und spezifischer Bakterien führt zur Gingivitis und schließlich zur Parodontitis [38] [39]. Allerdings haben verschiedene Studien auch gezeigt, dass sowohl bei Patienten mit schlechter Mundhygiene als auch bei Patienten mit einem guten oralen Zustand Knochendefekte auftreten [69] [88] [41] [71].

Zu 3.:

Als Hauptursache der mechanischen Schädigung des Parodonts wird in der Literatur die (übermäßige) Benutzung von harten Zahnbürsten beschrieben [69] [31]. VÖLKL *et al.* bewiesen, dass nicht nur die häufige Benutzung, sondern auch der erhöhte Anpressdruck der Zahnbürste zu Rezessionen und damit zu einem vestibulären Knochenabbau führt [81]. Des Weiteren wurde in diversen Studien beschrieben, dass nicht nur falsches Mundhygieneverhalten, sondern auch Habits wie das Kauen von Fingernägeln oder Bleistiften zu gingivalen Rezessionen führen [52], ebenso wie das Tragen oraler Piercings [72] [23] [24]. Auch können subgingival gelegene Restaurationsränder durch Plaqueanlagerung und eine daraus hervorgehende Entzündung zum vestibulären Knochenabbau führen [79] [78]. Ein weiterer mechanischer Faktor ist die okklusale Attrition, die von STAHL *et al.* und von KAKEHASHI *et al.* als weitere Möglichkeit beschrieben wurde [73] [28].

Zu 4.:

Besonders Zähne in exzentrischen Positionen, etwa im Labial- oder Engstand sind häufig von Rezessionen und vestibulärem Knochenverlust betroffen [18] [34] [48]. YAGCI *et al.* untersuchten in ihrer Studie anhand von 123 DVT-Bildern Dehiszenzen und Fenestrationen in Bezug auf die drei skelettalen Klassen. Sie fanden heraus, dass Patienten mit einer skelettalen Klasse II, verglichen mit den anderen beiden skelettalen Klassen, eine vermehrte Anzahl an Fenestrationen aufweisen. In den skelettalen Klassen II und III kommen mehr Knochendefekte im Unterkiefer vor. In allen skelettalen Klassen weist die UK-Front die größte Anzahl von Dehiszenzen auf [86]. Auch EVANGELISTA *et al.* diskutierten in ihrer Studie den Zusammenhang zwischen Fenestrationen und Dehiszenzen und der Angle-Klasse I und II,1 ohne kieferorthopädische Vorbehandlung. Insgesamt sind bei beiden Angle-Klassen bei einer Gesamtzahl von 4319 Zähnen 51,09% Dehiszenzen und 36,51% Fenestrationen vertreten. Die Angle-Klasse I weist eine um 35% höhere Anzahl an Dehiszenzen auf als die

Angle-Klasse II, 1 [13]. Des Weiteren wurde in der Literatur ein vermehrtes Vorkommen von Dehiszenzen und Fenestrationen bei verkleinertem bucco-lingualen Inklinationswinkel zum Normwert (festgesetzt 1963 von DEMPSTER *et al.* [9]) beschrieben [57].

Zu 5.:

Ob kieferorthopädische Behandlungen alleine für die Entstehung von gingivalen Rezessionen, Dehiszenzen und Fenestrationen verantwortlich sind, wird in der Literatur sehr kontrovers diskutiert. SLUTZKEY *et al.* zeigten in ihrer Studie, dass Personen mit kieferorthopädischer Behandlung eine höhere Anzahl an gingivalen Rezessionen aufweisen als solche, die nicht kieferorthopädisch behandelt worden sind [72]. Vor allem zeigen proklinierte Zähne gegenüber nicht proklinierten Zähnen und kieferorthopädisch unbehandelten Probanden eine erhöhte Anzahl an Rezessionen [27]. Dieses Phänomen wurde auch bei Patienten nach chirurgisch behandelter mandibulärer Prognathie mit starker Proklination der UK-Front beschrieben [2]. WEHRBEIN *et al.* untersuchten im Jahre 1995 Oberkieferzähne einer 19-jährigen Verstorbenen, an denen Brackets mittels Edgewise-Technik befestigt waren. Sie stellten fest, dass Dehiszenzen und Fenestrationen histologisch nachweisbar sind, auch wenn sie zuvor radiologisch und klinisch nach Zahnbewegung nicht festzustellen waren [83]. In Studien wurde die Auswirkung der Zahnbewegungen, insbesondere der Labialbewegung, auf die Entstehung von gingivalen Rezessionen beziehungsweise von Dehiszenzen und Fenestrationen untersucht. Es stellte sich heraus, dass die Zahnbewegungen alleine nicht eine solche Schädigung am Parodont hervorruft [84] [67] [55] [44] [3]. Ursächlich ist vielmehr ein Zusammenspiel von anatomischen und therapeutischen Faktoren. Aus diesem Grund sollten vor jeder Behandlung die anatomischen Risiken abgeschätzt werden. Zu diesen zählen ein schmaler Alveolarfortsatz, ein dünner oraler und bukkaler Knochen, exzentrische Zahnpositionen, ausgeprägte Kieferhöhlen, voranschreitender alveolärer Knochenverlust, eine Breite der keratinisierten Gingiva von 0–2 mm, eine dünne und hohe Symphysis, die Anwesenheit von Rezessionen sowie Zahnfleischentzündungen, Plaqueanlagerungen und das zu starke Zähneputzen [10] [83] [82] [15] [55] [44] [27] [3]. NAUERT *et al.* erörterten daher die Möglichkeit einer 3D-Diagnostik vor der kieferorthopädischen Behandlung, um diese Faktoren genau beurteilen zu können. Allerdings sollte dies aufgrund der Strahlenbelastung nur bei speziellen Indikationen durchgeführt werden [55]. Zu den therapeutischen Risikofaktoren werden die unkontrollierten sagittalen und vertikalen Frontzahnbewegungen und eine kortikale oder intermaxilläre Verankerungspräparation gezählt [15]. Des Weiteren sollte bei einer kieferorthopädischen Behandlung auf wichtige Faktoren zur Vermeidung von alveolären Knochendefekten geachtet werden: Die Richtung der Bewegung, die Frequenz und

die Größe der kieferorthopädisch aufzubringenden Kräfte sowie die Größe und die anatomischen Gegebenheiten der Parodontalstrukturen [19] [82].

2.2.3 Bildgebende diagnostische Verfahren

In der Zahnheilkunde sind neben der Benutzung der Parodontalsonde radiologische Untersuchungen zur Diagnostik und Therapie der Parodontitis unerlässlich geworden. Durch Früherkennung pathologischer Veränderungen am Parodont können Parodontalerkrankungen vorgebeugt sowie der Schweregrad und das Ausmaß der Erkrankung festgestellt werden [76]. Des Weiteren stellten MOL *et al.* in ihrer Studie fest, dass durch die radiologische Diagnostik der Parodontalspalt, die Lamina dura und die periapikale Region beurteilt werden können, was durch die klinische Untersuchung allein nicht möglich wäre [49]. Die am häufigsten eingesetzten Röntgentechniken zur Diagnostik parodontaler Erkrankungen werden im Folgenden beschrieben. Sie lassen sich nach Abhängigkeit der Lage des Sensors in extraorale und intraorale Techniken einteilen [36]:

- Die Einzelzahnfilmaufnahme:

Der Sensor liegt hier intraoral. Durch die befundbezogene Untersuchung an einem bestimmten Zahn lässt sich eine Detaildarstellung der feinen parodontalen Strukturen darstellen [60]. Mittels mehrerer Einzelzahnfilme lässt sich ein Zahnstatus als Darstellung aller zahntragenden Abschnitte des Alveolarfortsatzes im Ober- und Unterkiefer in Paralleltechnik erstellen. Die effektive Strahlendosis beträgt 1–8,3 μSv [61].

- Die Bissflügelaufnahme:

Der Sensor liegt hier intraoral. Mit dieser Art der Aufnahme lässt sich das marginale Parodont beurteilen. Die effektive Dosis beträgt 1–8,3 μSv [61].

- Panoramaschichtaufnahme (OPT):

Der Sensor liegt hier extraoral. Die Panoramaschichtaufnahme ermöglicht bei einer Strahlendosis von etwa 7 μSv eine Darstellung aller Zähne sowie des Ober- und Unterkiefers mit seinen umliegenden Strukturen [60]. Aus diesem Grund ist eine Panoramaschichtaufnahme zur Darstellung des Parodontalstatus einem Zahnstatus aufgrund der geringeren Strahlenbelastung vorzuziehen [70].

Die Zweidimensionalität dieser Aufnahmetechniken, schränkt die Aussagekraft über die parodontale Situation ein. Die Beurteilung von zwei- oder dreiwandigen intraossären Defekten in vestibulo-oraler Richtung und im Bereich des interradiikulären Septums ist nur limitiert möglich. Eine Aussage über das vestibuläre und/oder linguale Knochenangebot kann nicht getroffen werden [65] [66] [16] [47] [46] [80] [50] [14]. Das Ausmaß der Dehiszenzen

und Fenestrationsen kann nur in kraniokaudaler und mesiodistaler Richtung beurteilt werden [46]. Über den Grad des Furkationsbefalls ist im Gegensatz zu einer 3D-Aufnahme keine genaue Aussage möglich [80]. Die röntgenologischen Messungen erscheinen zudem kleiner im Vergleich zur direkten intraoperativen Messung. So berichteten EICKHOLZ und HAUSMANN, dass bei einem direkten Vergleich mit intraoperativen Messungen der Knochenabbau auf den Röntgenbildern um etwa 1,5 mm unterschätzt wurde [12]. Des Weiteren kann es zu Abweichungen des Zentralstrahles und zu Fehlern in der Strahlenexposition kommen, was eine verzerrungsfreie Darstellung erschwert.

Aus diesem Grund sind zur sicheren Beurteilung dieser Strukturen dreidimensionale Aufnahmeverfahren unabdingbar. Zu diesen Verfahren gehören:

- Die Dental-Computertomographie (Dental-CT):

Bei ihr werden zweidimensionale Datenflächen zu einem dreidimensionalen Datenwürfel verarbeitet [36]. Die effektive Strahlendosis beträgt bis zu 610 μSv [7]. Die Indikation zur Dental-CT besteht im Gegensatz zu zweidimensionalen Röntgenbildern in der besseren Darstellung von Anatomie und Pathologie des Ober- und Unterkiefers. Des Weiteren wird die Höhe und Breite des Alveolarkamms und der Schwund des Alveolarknochens bei der Erkrankung des Parodonts besser erkannt [54] [63].

- Die Digitale Volumentomographie (DVT) – Cone-Beam Computerized Tomography (CBCT):

Im Gegensatz zum CT wird die aufzunehmende Struktur mittels kegelförmiger Strahlenbündel dreidimensional dargestellt (Abb. 2.5) [36]. Die Qualität der Darstellung ist besser als die der Dental-CT und die effektive Strahlendosis ist mit 62–68 μSv deutlich geringer [36].

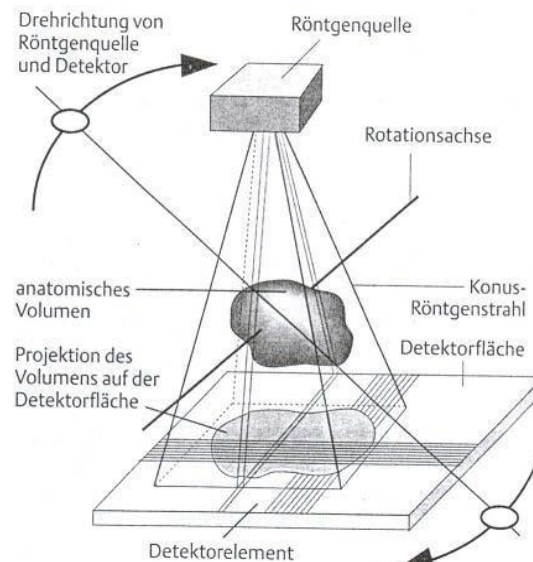


Abb. 2.5: Funktionsprinzip des DVTs (Rother UJ (2006) Moderne bildgebende Diagnostik in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde)

Mit der Einführung der digitalen Volumentomographie in die Zahnheilkunde im Jahre 1997 wurde die bildgebende Diagnostik erweitert. Der digitale Volumentomograph entstand durch die Weiterentwicklung des Ortho CT, dessen Prototyp auf Basis der Scanora (Soredex Corporation, Helsinki, Finnland) hergestellt wurde, einem multifunktionalen Röntgenschnittgerät, das speziell für den Kieferbereich entwickelt wurde. Dieser wurde drei Jahre lang unter der Leitung seines Erfinders Yoshinori Arai getestet, bevor die Lizenz dieser Technik auf die J. Morita Corporation überschrieben wurde. Diese brachte den digitalen Volumentomographen 3DX heraus, der in Europa und in den Vereinigten Staaten unter dem Namen 3D Accuitomo bekannt ist [1].

Die DVT hat sich mittlerweile in vielen Bereichen der Zahnmedizin etabliert [89] [53]. Aufgrund ihrer wesentlich geringeren effektiven Strahlendosis ist sie dem Dental-CT vorzuziehen [7] [43]. Die Anwendung der DVT hat sich seit einigen Jahren in der Mund-Kiefer-Gesichts-Chirurgie zur präimplantologischen Evaluation des Knochenangebotes, bei Traumata, Tumorausdehnungen, Nasenatmungs- und Nasennebenhöhlenerkrankungen, Kiefergelenkserkrankungen und bei Umstellungsosteotomien durchgesetzt [22]. In der Kieferorthopädie findet sie Anwendung zur Lokalisierung impakterter und verlagerter Zähne sowie zur Darstellung des Knochenangebots im Hinblick auf die Durchführung kieferorthopädischer Bewegungen einzelner Zähne oder Zahngruppen [53]. Aber auch in der Parodontologie hat sich die DVT bewährt, besonders aufgrund der Genauigkeit bei der Darstellung von parodontalen Knochendefekten. Sie ist dem Dental-CT in der Darstellung anatomischer und pathologischer Strukturen, besonders der intraossären parodontalen Defekten, überlegen und daher diesem vorzuziehen [45] [47] [25].

3 Material und Methode

3.1 Material

Innerhalb dieser Studie wurden DVT-Aufnahmen ausgewertet, die aus einer kieferorthopädisch-oralchirurgischen Praxis stammten. Die Indikation zur Anfertigung der DVT-Bilder war die Bewertung von Zahndurchbruchstörungen, die Diagnostik von Anomalien des Zahnbestandes sowie von Anomalien und Dysplasien der Zahnwurzeln. Weitere Indikationen waren die Ermittlung der Topographie retinierter und verlagelter Zahnkeime, die Beurteilung pathologischer Knochenstrukturen, die Darstellung des peridentalen Knochenangebotes sowie die 3D-Differentialdiagnostik von komplexen angeborenen oder erworbenen kraniofazialen Fehlbildungen und die Spaltmorphologie von uni- und bilateralen Lippen-Kiefer-Gaumenspalten. Für die Anfertigung der DVT-Aufnahmen wurde der digitale Volumentomograph Veraviewepocs 3D der Firma J. Morita (Kyoto, Japan) verwendet (Abb. 3.1). Der Abstand zwischen den einzelnen Schichten der DVT betrug dabei 0,25 mm und der Voxelabstand 0,125 mm. Die Positionierung der Patienten erfolgte im Stehen. Dabei wurden die Köpfe der Patienten durch zwei Kopfstützen und eine Kinnstütze optimal im Bildvolumen positioniert. Die Patienten wurden mit Hilfe von fünf Laserlichtvisieren in die Referenzpositionen eingestellt (Abb. 3.2).



Abb. 3.1: Digitaler Volumentomograph Veraviewepocs 3D von J. Morita (J. Morita Europe GmbH)

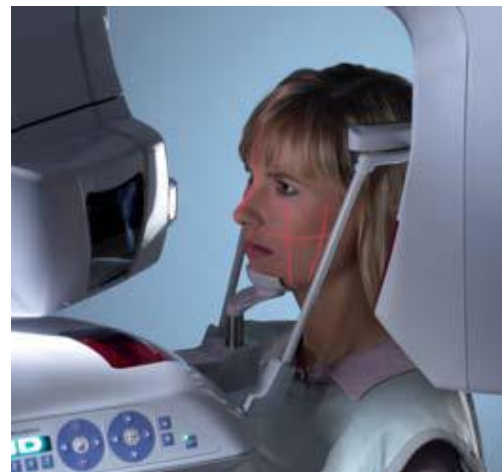


Abb. 3.2: Laserlichtvisier des digitalen Volumentomographs Veraviewepocs 3D, mit dem der Patienten Kopf in seine Referenzpositionen ausgerichtet wird (J. Morita Europe GmbH)

Das Durchschnittsalter der Patienten betrug $40 \pm 12,4$ Jahre. 34,3% der Patienten waren männlich und 65,7% weiblich.

3.2 Methode

3.2.1 Einschlusskriterien

Aus dem Pool von 1510 DVT-Bildern, wurden nur die Bilder in diese Studie integriert, die folgende Kriterien erfüllten:

- Keine kieferorthopädische Vorbehandlung der Patienten
- Volljährigkeit [$n \geq 18$ Jahren]
- Vollständige 2. Dentition

Dabei waren Bilder von Patienten, die prothetisch versorgt waren oder denen Zähne fehlten, kein Ausschlusskriterium.

Infolge der Berücksichtigung dieser Kriterien ergab sich eine Gesamtzahl von 134 DVT-Aufnahmen und 2813 Zähnen, die zur Beurteilung herangezogen werden konnten.

3.2.2 Auswertung des Untersuchungsmaterials

3.2.2.1 Vermessung der Dehiszenzen und Fenestrationsen

Die DVT-Bilder wurden in die Software OsiriX der Firma Pixmeo Sarl© (Bernex, Schweiz) eingelesen. Die Bilder wurden über die „3D Volume Rendering Funktion“, mit der sich Knochen, Muskel und Haut in unterschiedlichen Farben und Schichtdicken darstellen lassen, dreidimensional mit der Voreinstellung Low Contrast geladen (Abb. 3.3). Die Einstellungen waren für jedes Bild gleich. Die Farbzuordnungstabelle wurde immer auf „VR Bones“, um nur den Knochen darzustellen, und die Deckkraft immer auf „Logarithmic Table“ eingestellt. Die WL/WW-Schaltfläche, mit der sich voreingestellte Kontrast- und Helligkeitswerte einstellen lassen, befand sich immer auf dem Status „Andere“. Nach diesen getätigten Voreinstellungen der DVT-Bilder wurden mit Hilfe der Schaltfläche „Messung“ die Dehiszenzen ausgehend von der Schmelz-Zement-Grenze und die Fenestrationsen an den Zähnen 16–26 und 36–46 vestibulär entlang der Zahnlongsachse gemessen (Abb. 3.4). Die Werte wurden in eine Tabelle übertragen, die mit der Software Microsoft Office Excel 2007 (Redmond, USA) angelegt wurde und in der Tabelle 3.1 mit ihren Parametern dargestellt ist.

Tab. 3.1: Angefertigte Excel Tabelle mit ihren auszuwertenden Parametern

Patienten-ID	Dehiszenz 16–11	Fenestration 16–11	OK1/NL
Geburtsdatum	Dehiszenz 21–26	Fenestration 21–26	
Alter	Dehiszenz 36–31	Fenestration 36–31	
Geschlecht	Dehiszenz 41–46	Fenestration 41–46	

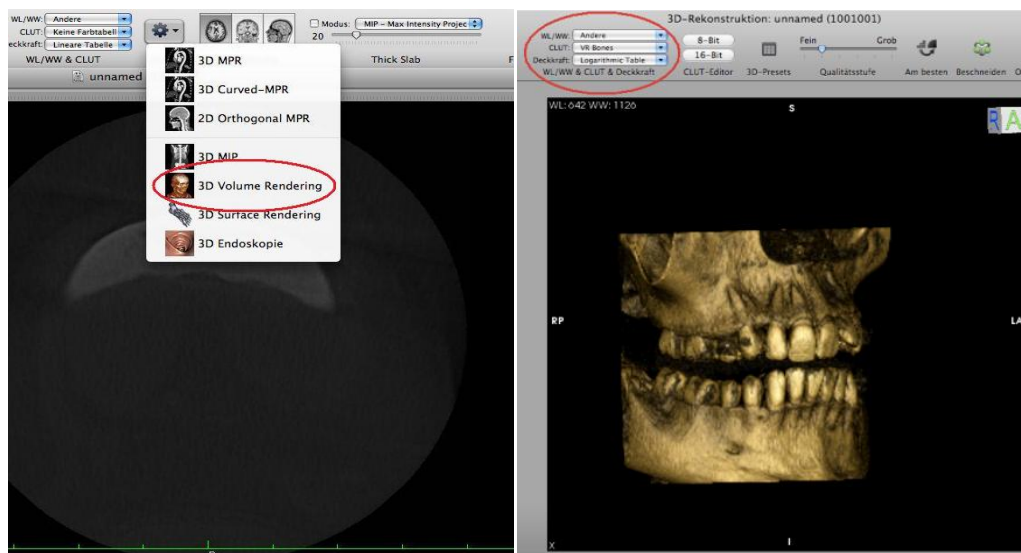


Abb. 3.3: Vorgehensweise beim Laden der DVT-Bilder in die 3D Volume Rendering-Funktion mit der Software Osirix

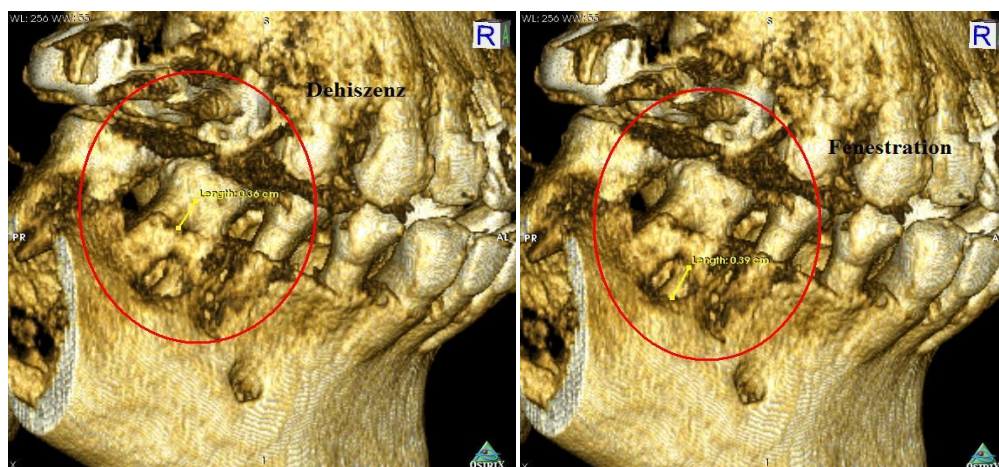


Abb. 3.4: Vermessen der Dehiszenzen und Fenestrationen mittels der Software Osirix in der 3D Volume Rendering-Funktion

3.2.2.2 Vermessung der Inklination

Bei allen 134 Patienten wurde die OK-Frontzahninklination mit dem OK1/NL-Winkel durch die Umwandlung der DVT-Bilder in zweidimensionale Lateralbilder bestimmt. Dabei wurden die Werte in die Tabelle 3.1. übertragen. Die Umwandlung und die Auswertungen an den zweidimensionalen Lateralbildern wurden mit der Software OnDemand3D von der Firma Cybermed© (Seoul, Korea) durchgeführt. Dabei wurden die dreidimensionalen Bilder mittels der Schaltfläche „X-Ray Generator“ und „Lateral“ in zweidimensionale Bilder umgewandelt und der Winkel OK1/NL mittels der Schaltfläche „Winkelmessung“ gemessen (Abb. 3.5, Abb. 3.6).

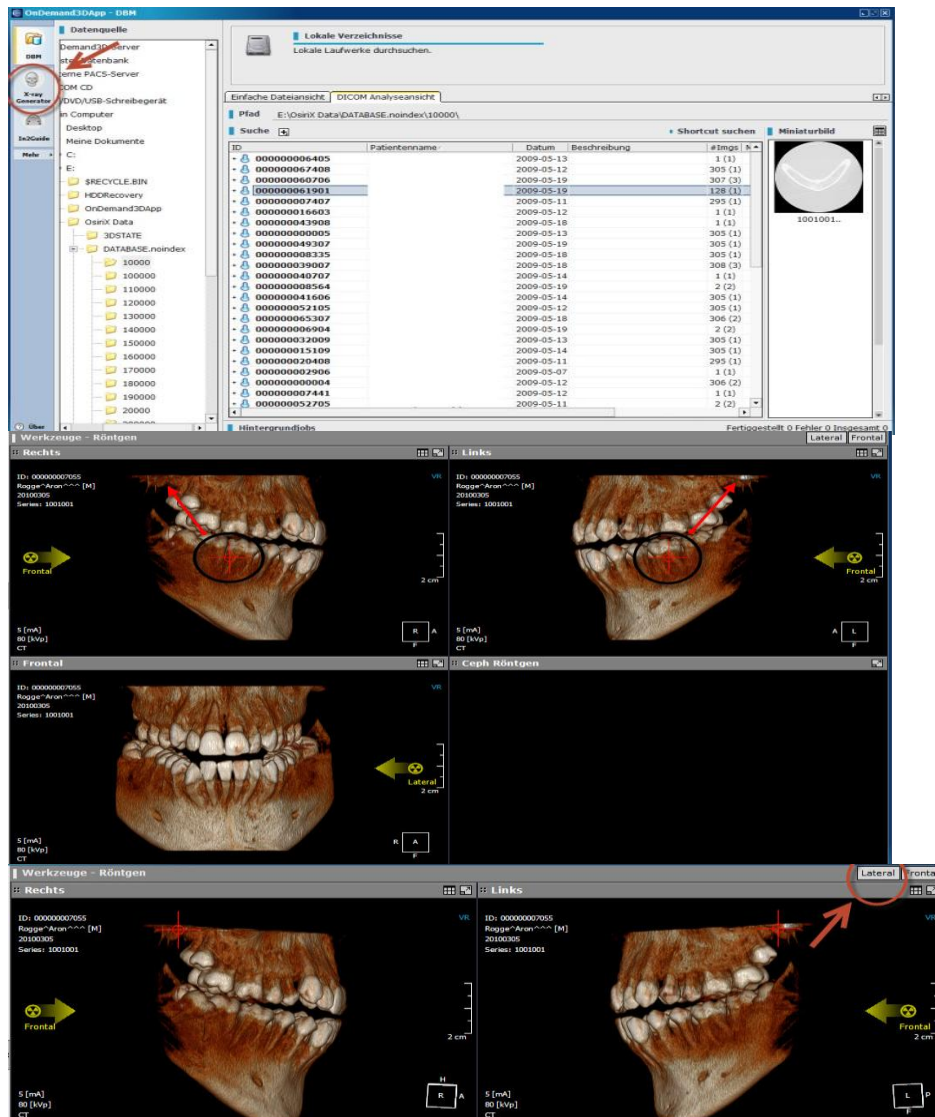


Abb. 3.5: Vorgehensweise bei der Umwandlung der DVT-Bilder in zweidimensionale Lateralbilder mittels der Software OnDemand3D

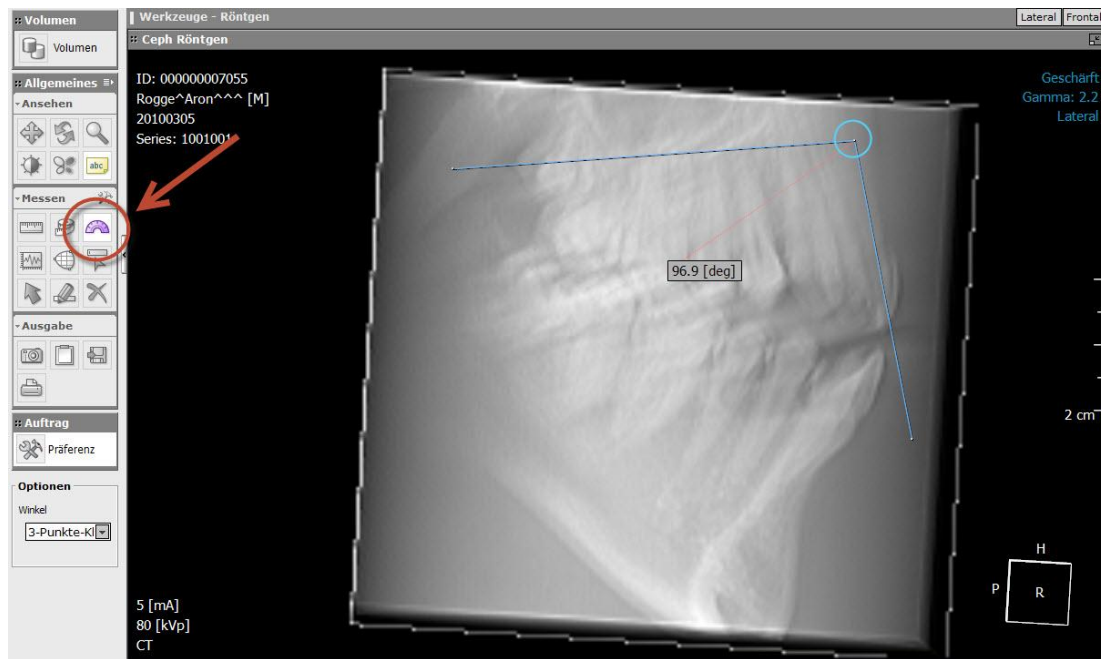


Abb. 3.6: Vermessung des OK-Frontzahninklinationswinkels OK1/NL mittels der Software OnDemand3D

3.2.3 Messpunkte

Um die DVT und die zweidimensionalen Bilder auswerten zu können, mussten Messpunkte eingezeichnet werden. Diese sollten eindeutig und reproduzierbar sein. Die hier aufgeführten Messpunkte werden wie folgt definiert:

Schmelz-Zement-Grenze (S-Z-G):

Als Schmelz-Zement-Grenze bezeichnet man die anatomische Trennlinie zwischen dem Schmelz der Zahnkrone und dem weichen, farblich dunkleren Wurzelzement (Abb. 3.7).

Anatomische Wurzelspitze (Apex):

Als anatomische Wurzelspitze wird die am weitesten von der Zahnkrone entfernte Stelle des Zahnes bezeichnet (Abb. 3.7).

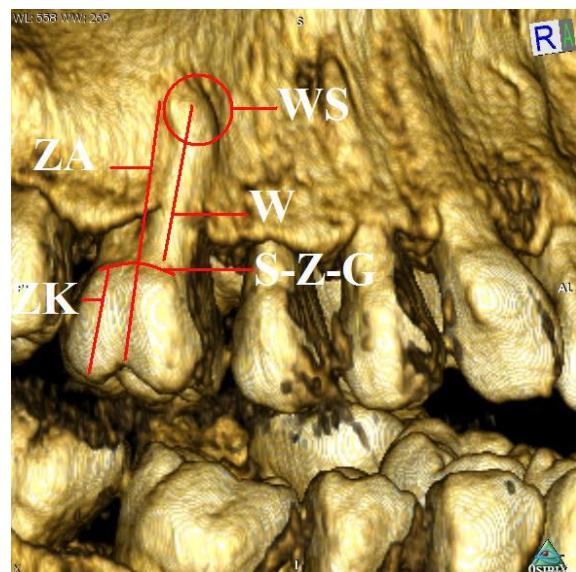


Abb. 3.7: Darstellung der zur Vermessung wichtigen Punkte und Strecken:

S-Z-G: Schmelz-Zement-Grenze, ZK: Zahnkrone, W: Wurzel, ZA: Zahnachse, WS: anatomische Wurzelspitze

Anatomische Zahnlängsachse [35]:

Als anatomische Zahnlängsachse wird bei einwurzeligen Zähnen die Verbindungslinie zwischen der Wurzelspitze und der Mitte der Schneidekante bzw. bei mehrwurzeligen Zähnen die Verbindungslinie zwischen der Wurzelgabelung, und der Mitte der Kaufläche bezeichnet (Abb. 3.7).

OK-Frontzahninklinationswinkel OK1/NL:

Der OK-Frontzahninklinationswinkel wird als der Winkel zwischen den Strecken OK1 (*Inzision superius* bis *Apikale superius*, rote Linie in Abb. 3.8) und Nasal-Linie (NL, *Spina nasalis superior* bis *Spina nasalis posterior*, blaue Linie in Abb. 3.8), definiert. Der Richtwert für diesen Winkel beträgt 107° . Bei einem Winkel größer 107° spricht man von einer Protrusion der OK-Frontzähne, bei einem Winkel kleiner 107° von einer Retrusion der OK-Frontzähne.

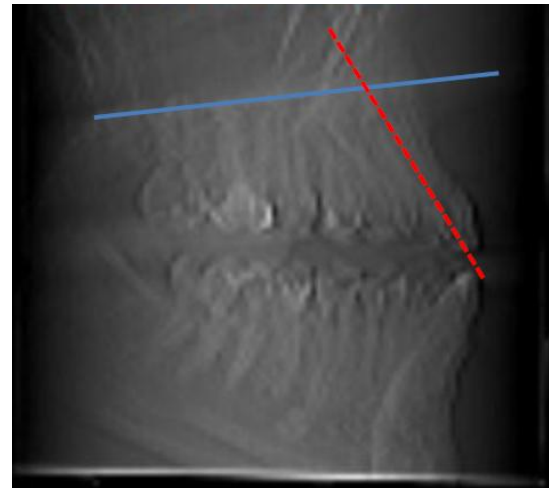


Abb. 3.8: Der OK-Frontzahninklinationswinkel OK1/NL

3.3 Literaturrecherche

Für diese Studie wurden mit Hilfe von Literaturdatenbanken aus dem Internet das Vorkommen und die Ursachen von Dehiscenzen und Fenestrationen recherchiert. Des Weiteren wurde nach Studien gesucht, die das Ausmaß des alveolären Knochendefekts mittels 3D-Diagnostik evaluiert haben. Bezüglich dieser Untersuchung wurde in der Literatur auch nach dem Zusammenhang von alveolären Knochendefekten und dem OK-Frontzahninklinationswinkel gesucht. Hierfür wurde Literatur aus den Jahren 1962–2012 herangezogen. Zur Recherche wurden Bücher, Artikel aus aktuellen Fachzeitschriften, prospektive bzw. retrospektive Studien von Tieren sowie Menschen und Reviews herangezogen.

Die Literaturrecherche erfolgte mittels Pubmed und GoogleScholar. In diese Literaturdatenbanken wurden folgende Suchbegriffe eingegeben: „alveolar bone dehiscences and fenestrations“, „buccal attachment loss“, „dehiscence and fenestration in skeletal class“, „gingival recession“, „orthodontic inclination“, „cone-beam computer tomography“.

3.4 Statistische Analyse und graphische Darstellung

Die statistischen Auswertungen wurden mit Hilfe von SPSS, Version 20.0 (IBM, Armonk, USA) und mit Microsoft Excel 2007 (Redmond, USA) durchgeführt. Dabei wurden nur die Patienten in die jeweilige statistische Auswertung integriert, bei denen für die jeweilige Auswertung benötigten Zähne und deren Messwerte vorhanden waren. Die Darstellung der metrischen Variablen erfolgte in Form von Mittelwerten und Medianen, während die Streumaße als Standardabweichungen und Quartile angegeben wurden.

Die Überprüfung der metrischen Variablen hinsichtlich ihrer Normalverteilung erfolgte mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test und dem Shapiro-Wilk-Test, wenn die Stichprobenanzahl < 50 war. Dabei wurde ersichtlich, dass die getesteten Variablen überwiegend keiner Normalverteilung unterlagen (Kolmogorov-Smirnov-Test: $p < 0,05$), weshalb durchgehend nichtparametrische Tests herangezogen wurden.

Aufgrund des Vorliegens von unabhängigen Stichproben bei den Gruppenvergleichen wurden folgende Testverfahren angewendet:

- Der Mann-Whitney-U-Test wurde beim Vergleich von zwei unabhängigen, nicht normalverteilten Stichproben durchgeführt.
- Bei mehr als zwei unabhängigen, nicht normalverteilten Stichproben wurde der H-Test nach Kruskal und Wallis durchgeführt.
- Der Friedmann-Test wurde beim Vergleich von mehr als zwei verbundenen, nicht normalverteilten Stichproben angewendet.

Eine zweiseitige Signifikanzprüfung erfolgte bei allen durchgeführten Testverfahren, wobei ein $p\text{-Wert} < 0,05$ als statistisch signifikant angenommen wurde. Es gibt folgende Signifikanzniveaus:

- $p \geq 0,05 \rightarrow$ nicht signifikant
- $p < 0,05 \rightarrow$ signifikant
- $p \leq 0,01 \rightarrow$ hoch signifikant
- $p \leq 0,001 \rightarrow$ höchst signifikant

Auftretende p -Werte, die knapp über 0,05 lagen, sind zwar statistisch nicht signifikant, aber sie besitzen einen deutlichen Trend und wurden deshalb als grenzwertig signifikant bezeichnet.

Zur graphischen Darstellung der Mediane und Quartilabstände wurden mittels SPSS Boxplots erstellt. In den Boxen wurden der Median sowie die 25.–75. Perzentile aufgetragen. Die T-Balken stellen den kleinsten und den größten Wert dar, sofern diese keine Ausreißer oder Extremwerte waren. Als Ausreißer wurden die Werte definiert, die $1\frac{1}{2}$ –3 Boxlängen

außerhalb der Box lagen und als Kreise sichtbar sind. Extremwerte sind Werte, die mehr als 3 Boxlängen außerhalb der Box liegen. Sie wurden als Kreuze aufgetragen. Die kategorisierten Daten wurden mit Hilfe von Kreisdiagrammen graphisch dargestellt.

4 Ergebnisse

4.1 Deskriptive Analyse

4.1.1 OK1/NL-Winkel und Differenz zum Richtwert von 107°

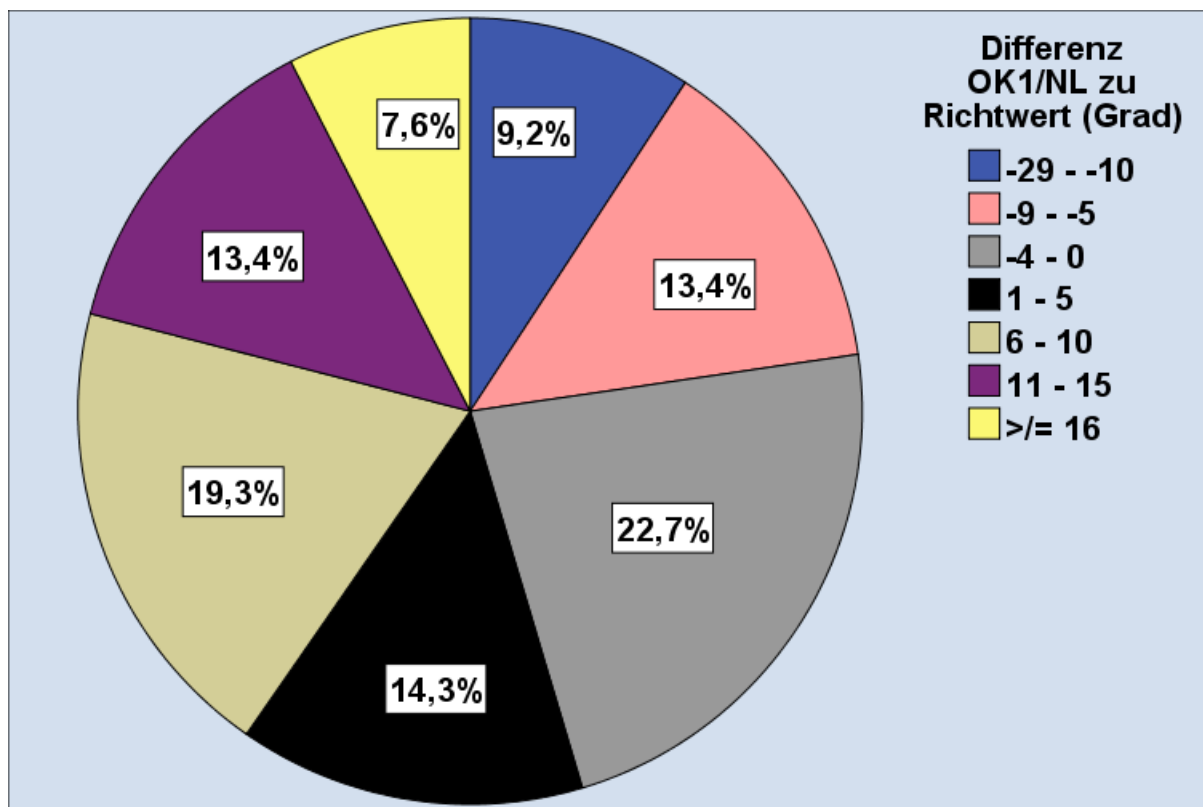


Abb. 4.1: Verteilungskuchen zur Darstellung der Verteilung der Patienten anhand ihres Differenzwertes zum OK1/NL-Winkel von 107° (Angaben in Prozent)

Von den 134 Patientenbildern konnte bei 119 der OK1/NL-Winkel bestimmt werden.

Der kleinste Winkel, der bestimmt wurde, lag bei 78°, der größte Winkel bei 132°. Der mittlere Winkel betrug 109°.

Bei der Mehrzahl der Patienten (54,6%) lag eine Protrusion der OK-Front vor (OK1/NL: > 107°). Am häufigsten wurde eine Abweichung des OK1/NL-Winkel von -4° bis 0° vom Richtwert (22,7%) gemessen. Einen vergrößerten OK1/NL-Winkel von $\geq +16^\circ$

wiesen die Patienten selten auf (7,6%). Bei 9,2% der Patienten ließ sich ein verkleinerter Winkel von -29° bis -10° (9,2%) vom Richtwert erkennen (Abb. 4.1).

4.1.2 Dehiszenzen im OK und UK

4.1.2.1 Dehiszenzen OK

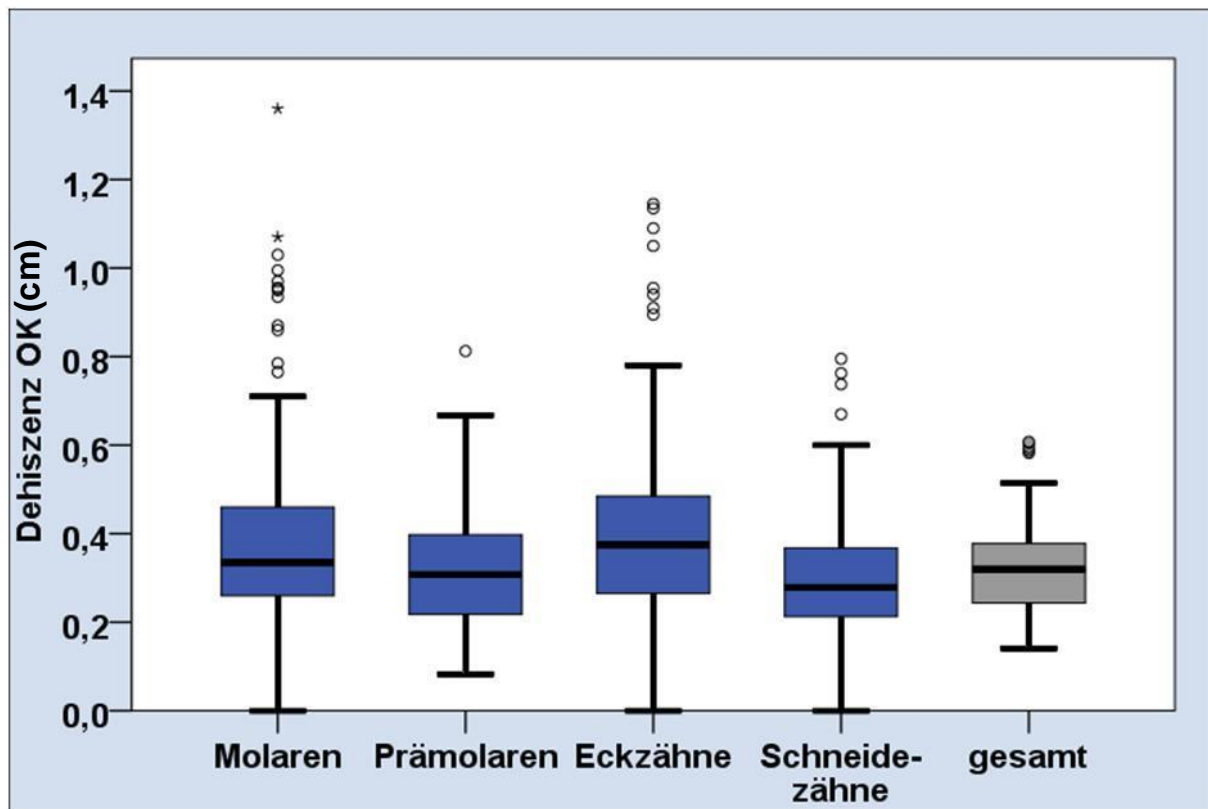


Abb. 4.2: Einordnung der Dehiszenzen im OK in die Zahngruppen (Angaben in cm)

Bei 63 Patienten waren Dehiszenzen an allen Zähnen im Oberkiefer vorhanden. Im Mittel wiesen die Patienten eine Gesamt-Dehiszenz im Oberkiefer von $0,33 \text{ cm} \pm 0,12 \text{ cm}$ an allen Zähnen auf. Dabei lag die maximale Dehiszenz bei 0,61 cm.

Unterteilt man den Oberkiefer in seine Zahngruppen, so wiesen 101 OK-Molaren im Mittel eine Dehiszenz von $0,41 \text{ cm} \pm 0,25 \text{ cm}$ auf. Die Prämolaren ($n = 77$) zeigten mittlere Dehiszenzen von $0,32 \text{ cm} \pm 0,14 \text{ cm}$. An den 121 beurteilten Eckzähnen konnten Dehiszenzen von durchschnittlich $0,41 \text{ cm} \pm 0,22 \text{ cm}$ nachgewiesen werden. Die 118 Schneidezähne zeigten Dehiszenzen im Mittel von $0,3 \text{ cm} \pm 0,14 \text{ cm}$. Der maximale Dehiszenzwert wurde an den Molaren mit 1,36 cm gemessen. Den geringsten Maximalwert wiesen die Schneidezähne mit 0,79 cm auf (Abb. 4.2).

4.1.2.2 Dehiszenzen UK

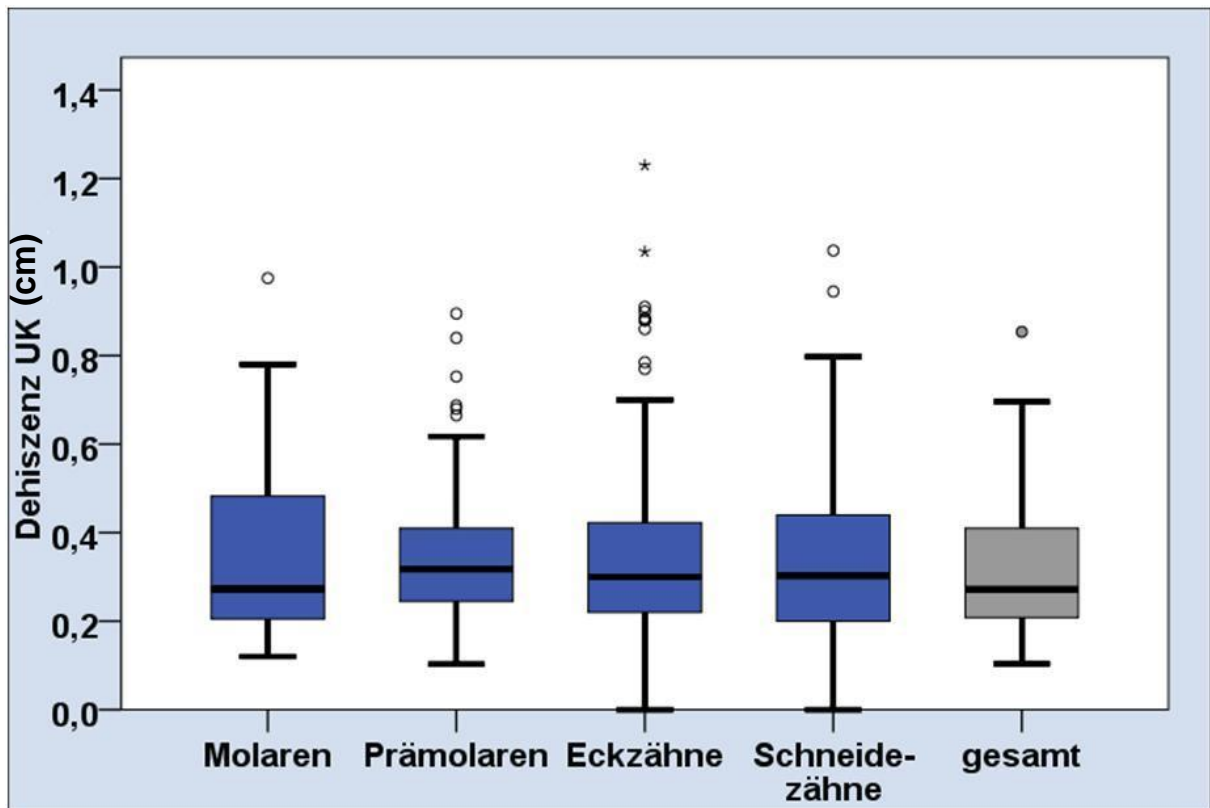


Abb. 4.3: Einordnung der Dehiszenzen im UK in die Zahngruppen (Angaben in cm)

68 Patienten wiesen Dehiszenzen im gesamten Unterkiefer mit einem Mittelwert von $0,32 \text{ cm} \pm 0,15 \text{ cm}$ auf. Die größte Dehiszenz betrug $0,85 \text{ cm}$.

Die Molaren wiesen bei 84 Patienten Dehiszenzen mit einem Mittelwert von $0,35 \text{ cm} \pm 0,19 \text{ cm}$ auf. Bei 97 Patienten stellten sich Dehiszenzen von $0,35 \text{ cm} \pm 0,15 \text{ cm}$ an den Prämolaren dar. Bei 127 Patienten zeigten die Eckzähne Dehiszenzen von $0,36 \text{ cm} \pm 0,22 \text{ cm}$. 125 Patienten hatten Dehiszenzen von $0,34 \text{ cm} \pm 0,19 \text{ cm}$ an den Schneidezähnen. Die geringsten Dehiszenzen wiesen die Prämolaren mit einer maximalen Dehiszenz von $0,89 \text{ cm}$ auf. Die größte Dehiszenz zeigten die Eckzähne mit $1,23 \text{ cm}$ (Abb. 4.3).

4.1.3 Fenestrations im OK und UK

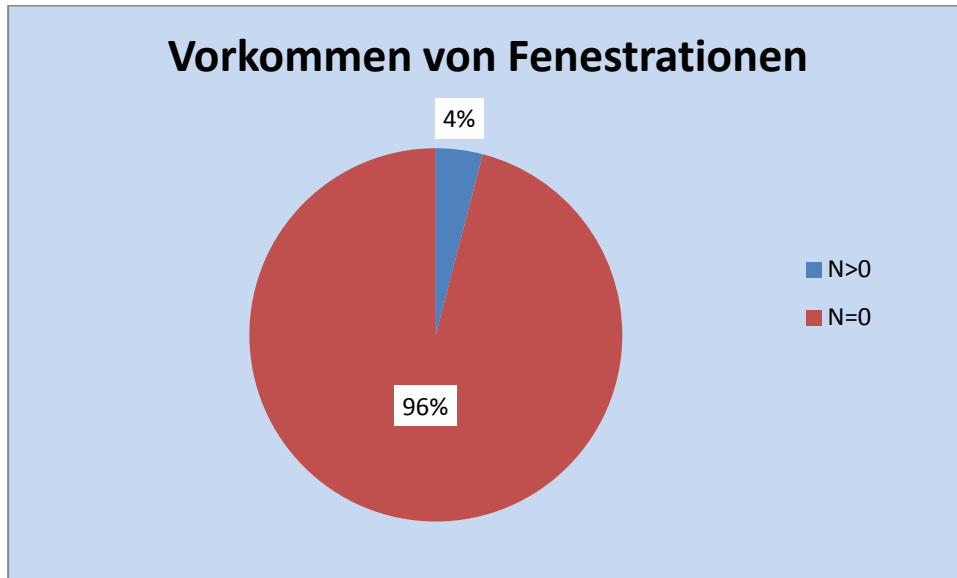


Abb. 4.4: Verteilungskuchen zum Vorkommen von Fenestrationsen (N > 0: Fenestration vorhanden, N = 0: keine Fenestration)

Von den 2813 untersuchten Zähnen, konnten nur bei 4% der Zähne (n = 114) Fenestrationsen festgestellt werden. Aufgrund dieser geringen Fallzahl konnte keine analytische Statistik vorgenommen werden (Abb. 4.4).

4.1.3.1 Fenestrationsen OK

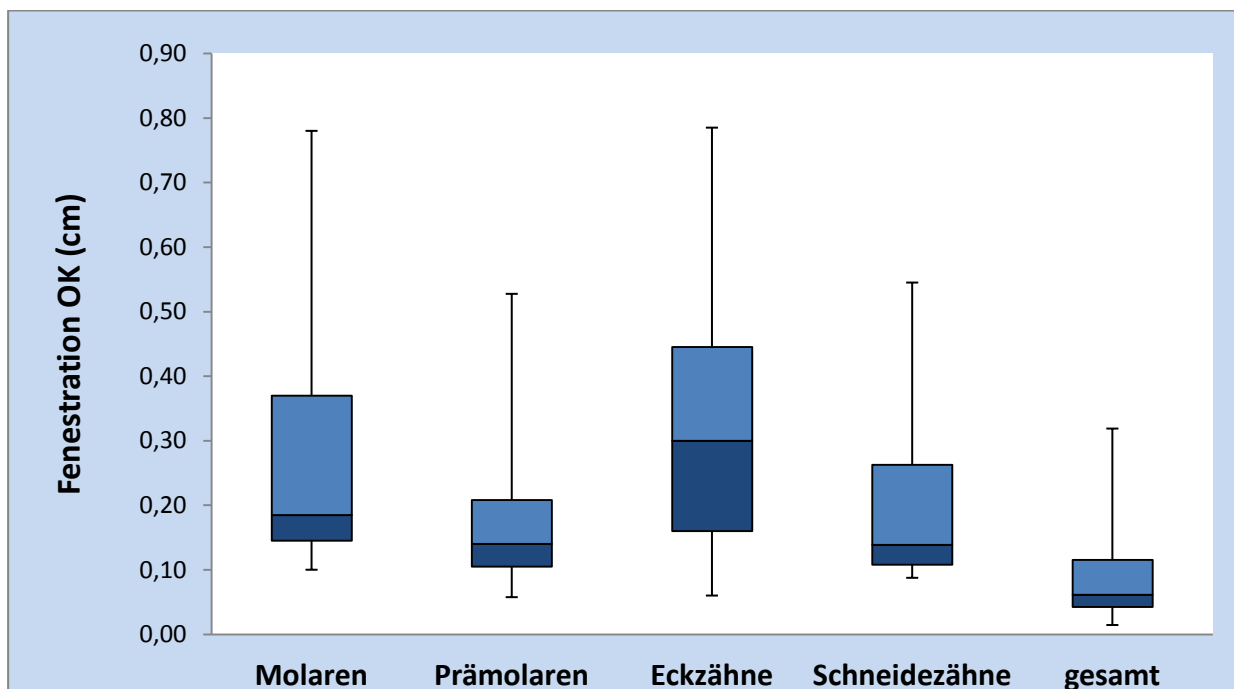


Abb. 4.5: Einordnung der Fenestrationsen im OK in die Zahngruppen (Angaben in cm)

16% der Patienten ($n = 22$) wiesen im gesamten Oberkiefer Fenestrations auf. Der Mittelwert aller Fenestrations betrug $0,1 \text{ cm} \pm 0,09 \text{ cm}$, der Median $0,6 \text{ cm}$. Die Eckzähne ($n = 17$) besaßen im Mittel Fenestrations von $0,34 \text{ cm} \pm 0,2 \text{ cm}$ mit einem Median von $0,3 \text{ cm}$. Die Molaren ($n = 13$) zeigten Fenestrations von $0,3 \text{ cm} \pm 0,2 \text{ cm}$ und ein Median von $0,19 \text{ cm}$. Fenestrations von $0,2 \text{ cm} \pm 0,15 \text{ cm}$ Größe und ein Median von $0,14 \text{ cm}$ konnten an den Schneidezähnen ($n = 10$) gefunden werden. An den Prämolaren ($n = 18$) ließen sich Fenestrations einer Größe von $0,19 \text{ cm} \pm 0,13 \text{ cm}$ und einem Median von $0,14 \text{ cm}$ nachweisen. Die größte Fenestration wiesen die OK-Eckzähne mit $0,79 \text{ cm}$ auf (Abb. 4.5).

4.1.3.2 Fenestrations UK

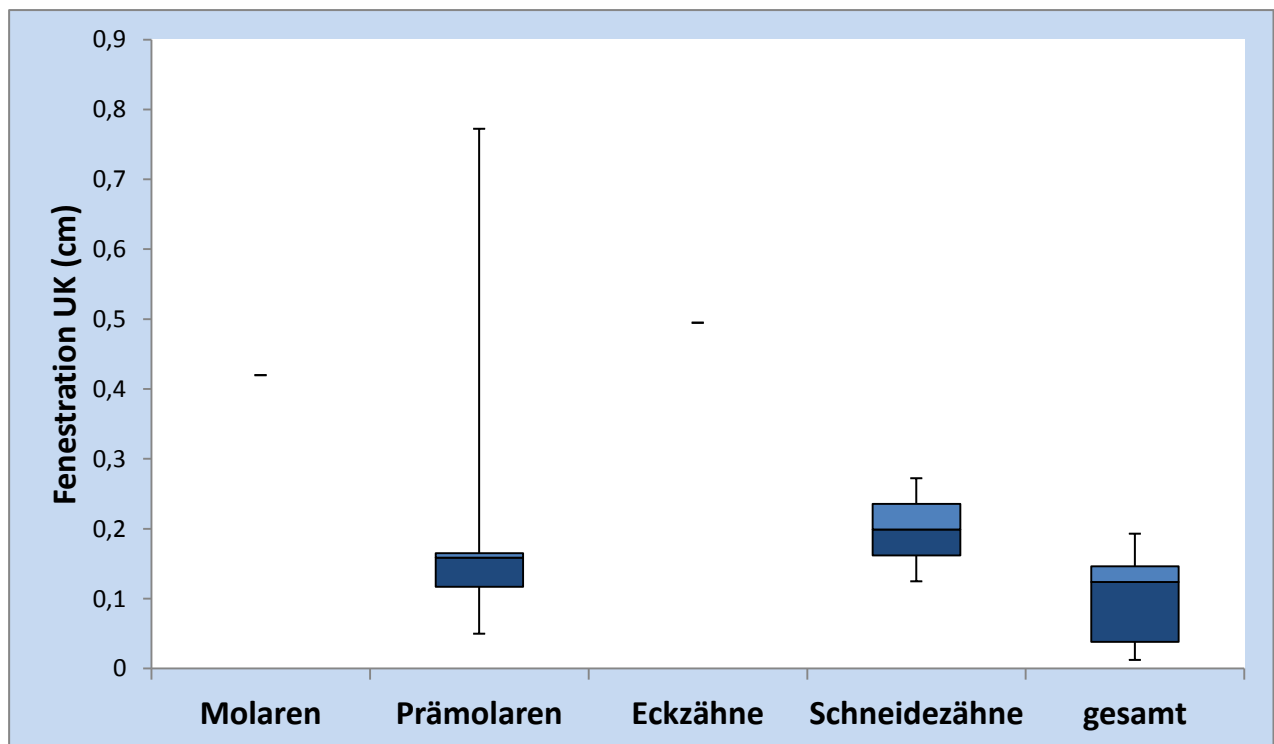


Abb. 4.6: Einordnung der Fenestrations im UK in die Zahngruppen (Angaben in cm)

Im Vergleich zum Oberkiefer lag im Unterkiefer nur eine geringe Anzahl an Fenestrations vor. Der Mittelwert aller Fenestrations im Unterkiefer bei einem Patientenkollektiv von 5 Patienten betrug $0,1 \text{ cm} \pm 0,08 \text{ cm}$, der Median $0,12 \text{ cm}$. Die Zahngruppen im Unterkiefer wiesen die in der Tabelle 4.1 angegebenen Mittelwerte auf.

Tab. 4.1: Fenestrationsen im Unterkiefer nach Zahngruppen sortiert.

Zahngruppe	Anzahl	Mittelwert	Abweichung	Median
UK- Molaren	N = 1	0,42 cm	$\pm 0,00$ cm	0,42 cm
UK-Prämolaren	N = 6	0,24 cm	$\pm 0,16$ cm	0,16 cm
UK-Eckzähne	N = 1	0,5 cm	$\pm 0,00$ cm	0,5 cm
UK-Schneidezähne	N = 2	0,2 cm	$\pm 0,1$ cm	0,2 cm

Die größte Fenestration zeigt sich an den UK-Prämolaren mit einem Maximum von 0,77 cm (Abb. 4.6).

4.2 Einfluss der Patientencharakteristika auf die Dehiszenz

4.2.1 Einfluss des Alters

Die 134 Patientenbilder wurden anhand des Medians in zwei Altersgruppen eingeteilt. Gruppe 1 umfasste mit 43,3% die über 40-jährigen. Gruppe 2 mit 56,7% schloss Patienten jünger als 40 Jahre oder genau 40 Jahre alt ein.

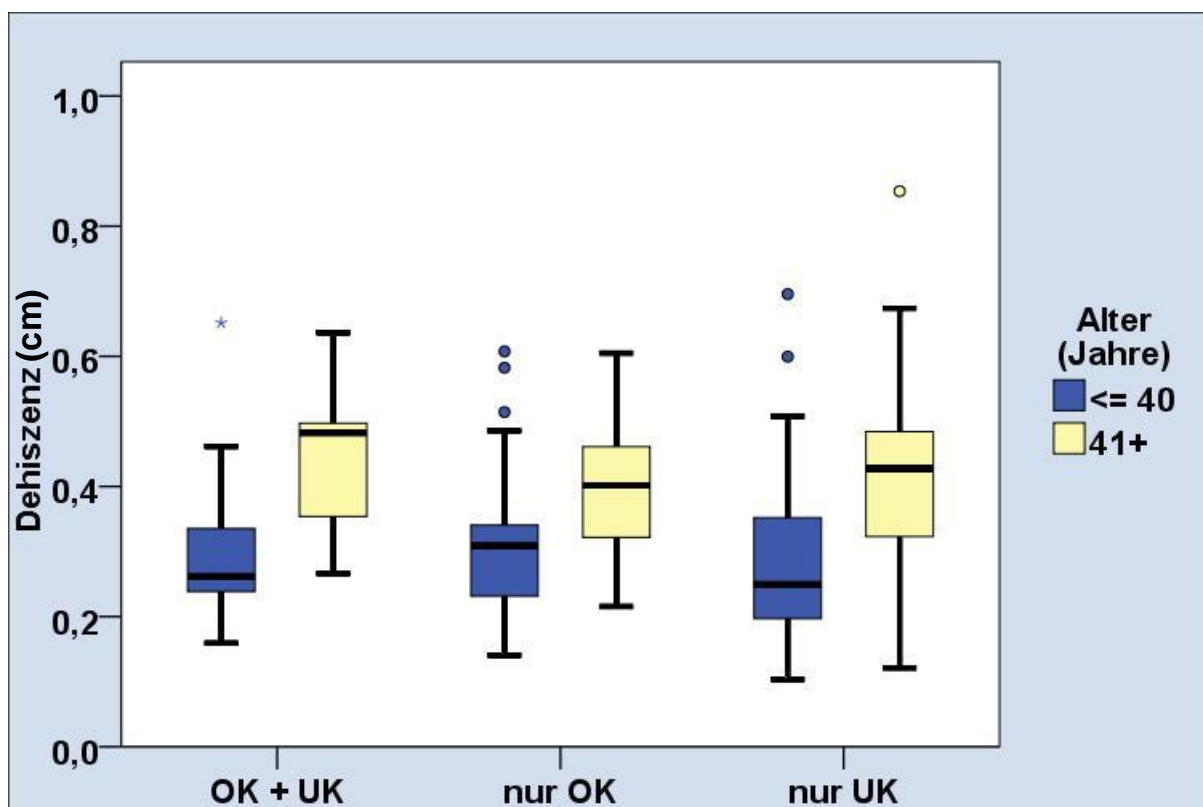


Abb. 4.7: Dehiszenzen im OK und UK (Angabe in cm) nach verschiedenen Altersgruppen (Angabe in Jahren)

Dehiszenzen im Ober- und Unterkiefer bei über und unter 40jährigen Patienten

Die über 40-jährigen Patienten (n = 9 von 58) wiesen eine mittlere Dehiszenz sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer von $0,44 \text{ cm} \pm 0,12 \text{ cm}$ auf. Die ≤ 40 -jährigen (n = 37 von 76) zeigten eine mittlere Dehiszenz von $0,3 \text{ cm} \pm 0,01 \text{ cm}$ (Abb. 4.7). Statistisch wurde ein hoch signifikanter vestibulärer Knochenverlust im Oberkiefer und Unterkiefer bei Patienten über 40 Jahren errechnet ($p = 0,002$).

Dehiszenzen im Oberkiefer bei über und unter 40jährigen Patienten

Gruppe 1 (n = 16 von 58) wies eine mittlere Dehiszenz im Oberkiefer von $0,40 \text{ cm} \pm 0,12 \text{ cm}$ auf. Im Vergleich hierzu zeigte die Gruppe 2 eine mittlere Dehiszenz von $0,3 \text{ cm} \pm 0,11 \text{ cm}$ (Abb. 4.7). Insgesamt gesehen zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den beiden Altersgruppen ($p = 0,002$). Der Unterschied in der Größe der mittleren Dehiszenzen ist zwischen beiden Gruppen hoch signifikant ($p = 0,002$).

Dehiszenzen im Unterkiefer bei über und unter 40 jährigen Patienten

Die Gruppe 1 (n = 19 von 58) zeigte eine mittlere Dehiszenz von $0,42 \text{ cm} \pm 0,17 \text{ cm}$. Die Gruppe 2 (n = 49 von 76) wies Dehiszenzen von $0,29 \text{ cm} \pm 0,12 \text{ cm}$ im Unterkiefer auf (Abb. 4.7). Der Unterschied zwischen beiden Gruppen war höchst signifikant ($p = 0,001$).

4.2.2 Einfluss des Geschlechts

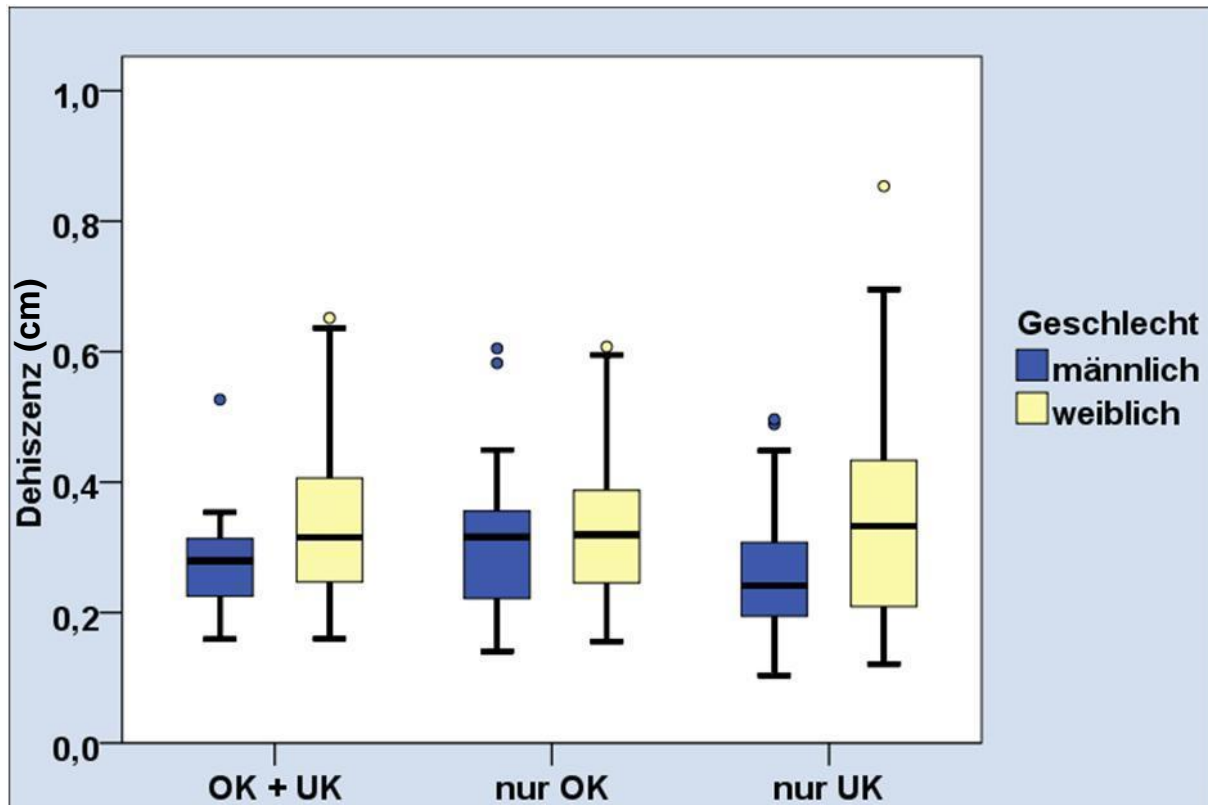


Abb. 4.8: Dehiszenzen im OK und UK (Angaben in cm) nach Geschlechtern (Angaben in männlich, weiblich)

Dehiszenzen bei männlichen und weiblichen Patienten in Ober- und Unterkiefer

16 von 46 Männern wiesen eine mittlere Dehiszenz im Oberkiefer sowie Unterkiefer von $0,28 \text{ cm} \pm 0,09 \text{ cm}$ auf. Im Vergleich hierzu zeigten 30 von 88 Frauen eine mittlere Dehiszenz von $0,34 \text{ cm} \pm 0,13 \text{ cm}$. Die Frauen hatten einen höheren Maximalwert (0,65 cm) als die Männer (Abb. 4.8). Insgesamt zeigten sich aber bei den Längen der Dehiszenzen im Oberkiefer und Unterkiefer kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Geschlechter ($p = 0,146$).

Dehiszenzen bei männlichen und weiblichen Patienten im Oberkiefer

43 von 88 Frauen wiesen im Oberkiefer eine mittlere Dehiszenz von $0,33 \text{ cm} \pm 0,11 \text{ cm}$ auf. Bei 20 von 46 Männern zeigte sich eine mittlere Dehiszenz von $0,31 \text{ cm} \pm 0,13 \text{ cm}$ (Abb. 4.8). Auch hier ergab sich kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Geschlechter ($p = 0,555$) in Bezug auf die Größe der Dehiszenzen.

Dehiszenzen bei männlichen und weiblichen Patienten im Unterkiefer

Bei 21 von 46 Männern betrug der Mittelwert der Dehiszenzen im Unterkiefer $0,27 \text{ cm} \pm 0,11 \text{ cm}$. Bei den 47 von 88 untersuchten Frauen zeigten sich Dehiszenzen von $0,35 \text{ cm} \pm 0,16 \text{ cm}$. Die Frauen wiesen auch hier einen deutlicheren Maximalwert von $0,85 \text{ cm}$ auf (Abb. 4.8). Im Mann-Whitney-U-Test ($p = 0,6$) konnte eine grenzwertige Signifikanz berechnet werden.

4.3 Vergleich der Zahngruppen hinsichtlich der Dehiszenz

4.3.1 Dehiszenzen OK und UK

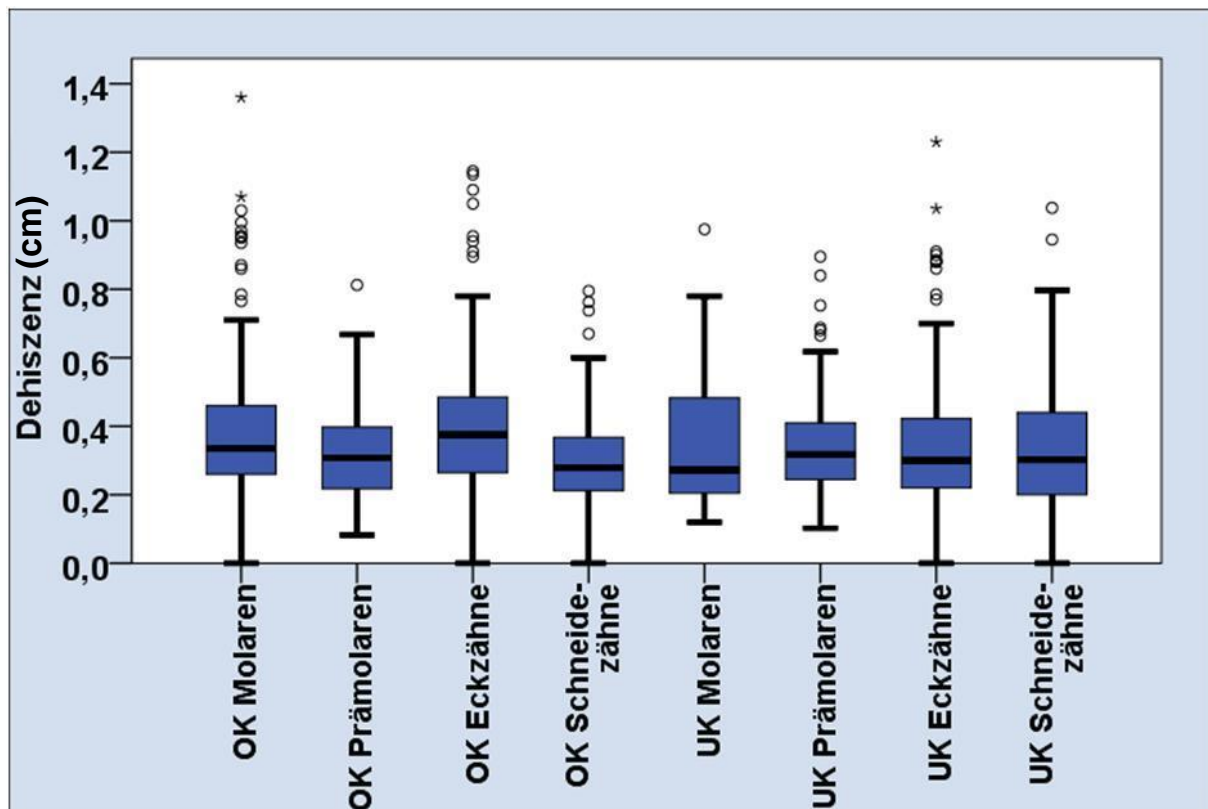


Abb. 4.9: Einordnung der Dehiszenzen (Angaben in cm) im OK und UK in die Zahngruppen von OK und UK

Die Zahngruppen (Molaren, Prämolaren, Eckzähne, Schneidezähne) im Oberkiefer wiesen im Mittel Dehiszenzen von $0,41 \text{ cm} \pm 0,25 \text{ cm}$ bis $0,3 \text{ cm} \pm 0,14 \text{ cm}$ auf (Abb. 4.9). Vergleicht man die Molaren und die Eckzähne mit den Prämolaren und Schneidezähnen wiesen diese signifikante Unterschiede auf ($p = 0,000$). Die Dehiszenzen an den Molaren und an den Eckzähnen waren größer im Gegensatz zu den Prämolaren und Schneidezähnen.

Des Weiteren ließ sich zwischen der Größe der Dehiszenzen der UK-Zahngruppen ein deutlich signifikanter Unterschied im Friedmann-Test errechnen ($p = 0,004$). Die Eckzähne wiesen die größten mittleren Dehiszenzen auf, die Schneidezähne die kleinsten. Der größte Maximalwert wurde an den Eckzähnen gemessen.

4.4 Auswirkung des OK-Frontzahninklinationswinkels (OK1/NL-Winkel) auf die Dehiszenz

4.4.1 Dehiszenzen OK und UK

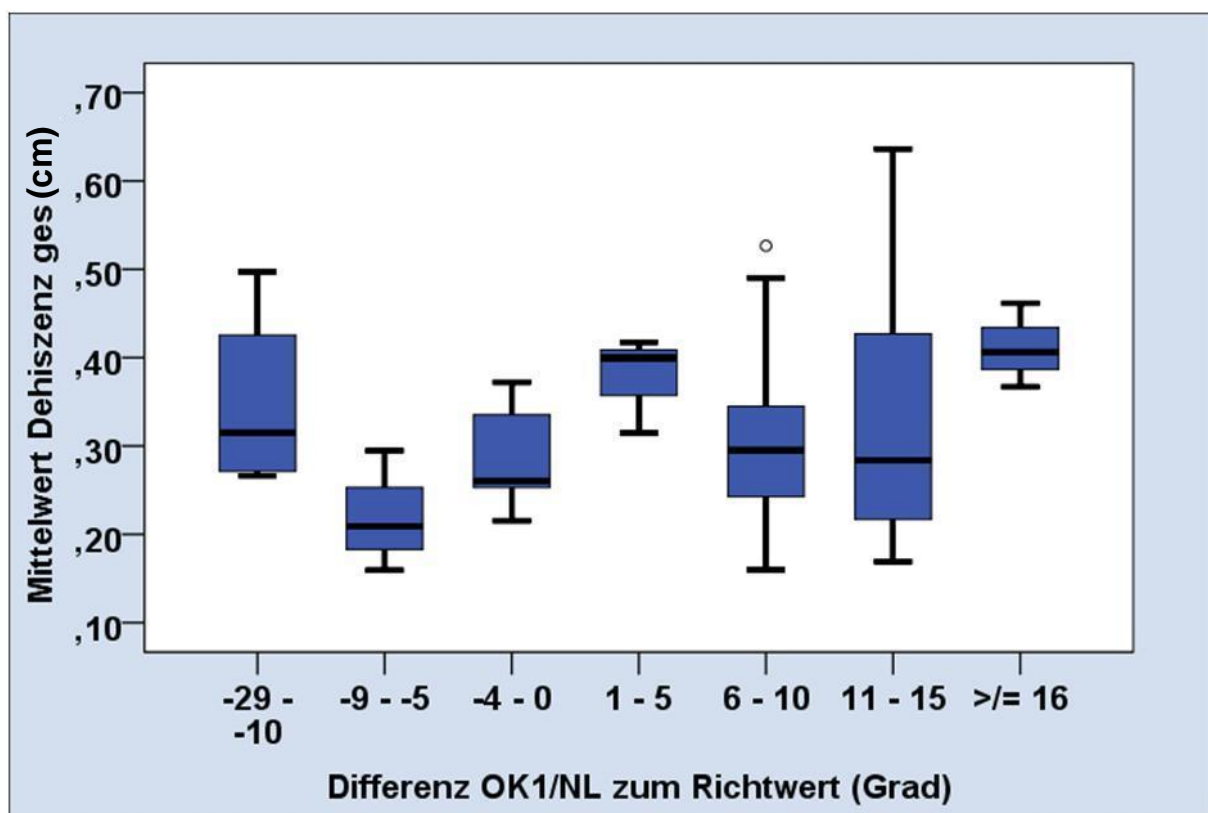


Abb. 4.10: Einordnung des Mittelwerts der Dehiszenzen von OK und UK zusammen (Angaben in cm) in die festgelegten Differenzintervalle (Angaben in °) zum OK1/NL-Winkel von 107°

Bei der Gruppe der Patienten ($n = 25$) mit einer proklinierten OK-Front ($> 107^\circ$) ließen sich mittlere Gesamt-Dehiszenzwerte von $0,31 \text{ cm} \pm 0,11 \text{ cm}$ bis $0,41 \text{ cm} \pm 0,05 \text{ cm}$ beobachten. Bei den Patienten ($n = 17$) mit retrudierter OK-Front ($< 107^\circ$) zeigten sich mittlere Gesamt-Dehiszenzwerte von $0,22 \text{ cm} \pm 0,06 \text{ cm}$ bis $0,35 \text{ cm} \pm 0,11 \text{ cm}$. Die größte mittlere Gesamt-Dehiszenz von $0,41 \text{ cm} \pm 0,05 \text{ cm}$ wiesen die Patienten mit einem vergrößerten OK1/NL-Winkel von $+16^\circ$ ($n = 3$) in Bezug auf den Richtwert auf. Patienten mit einem verringerten OK1/NL-Winkel von -9° bis -5° vom Richtwert ($n = 4$) zeigten die kleinste mittlere Gesamt-Dehiszenz von $0,22 \text{ cm} \pm 0,06 \text{ cm}$. Die maximale Gesamt-Dehiszenz von $0,64 \text{ cm}$ zeigte sich

bei den Patienten ($n = 8$) mit einem vergrößerten OK1/NL-Winkel von $+11^\circ$ bis $+15^\circ$ (Abb. 4.10). Vergleicht man die Differenz-Intervalle des OK-Frontzahninklinationswinkels in Bezug auf die Größe der Dehiszenzen miteinander, so konnte keine statistische Signifikanz im Kruskal-Wallis-Test berechnet werden ($p = 0,92$).

4.4.2 Dehiszenzen OK

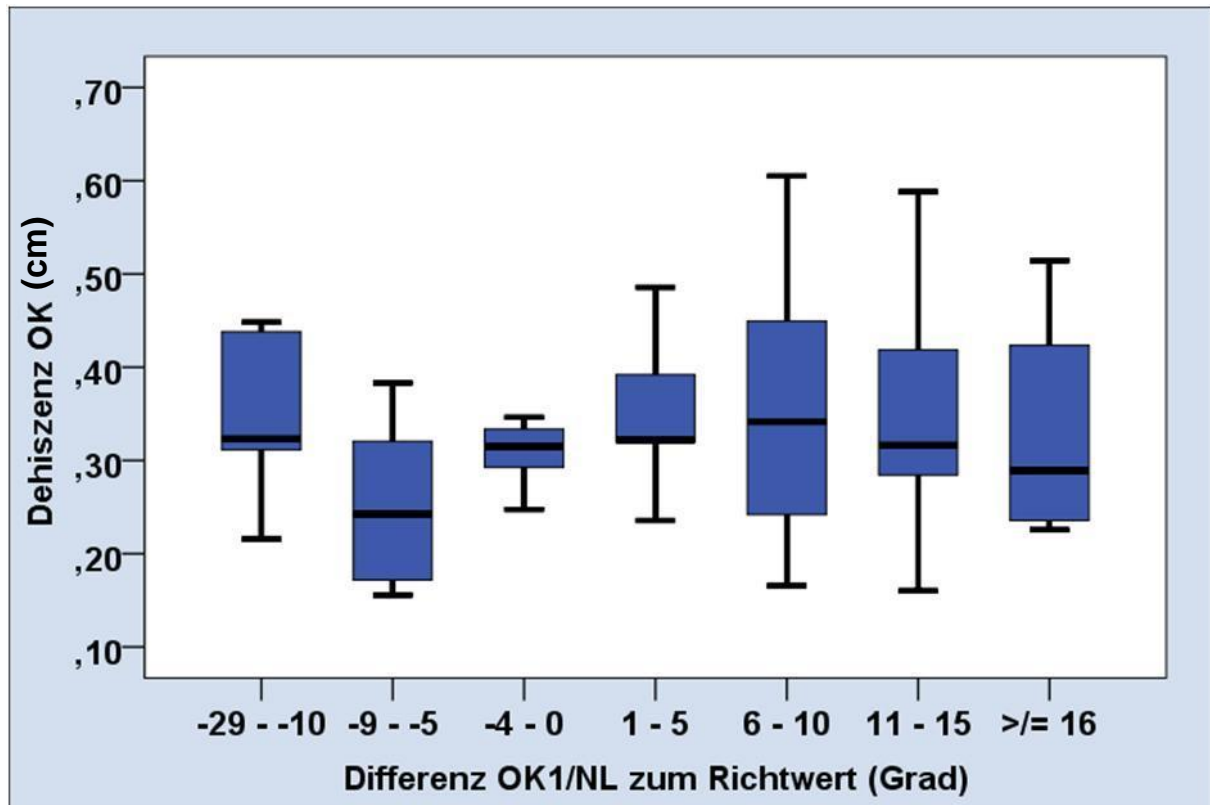


Abb. 4.11: Einordnung der Dehiszenzen im OK (Angaben in cm) in die festgelegten Differenzintervalle (Angaben in $^\circ$) zum OK1/NL-Winkel von 107°

Bei protrudierter OK-Front waren mittlere OK-Dehiszenzwerte von $0,33 \text{ cm} \pm 0,12 \text{ cm}$ bis $0,36 \text{ cm} \pm 0,14 \text{ cm}$ zu beobachten. Bei retrudierter OK-Front waren mittlere OK-Dehiszenzwerte von $0,26 \text{ cm} \pm 0,08 \text{ cm}$ bis $0,35 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}$ zu sehen. Die größte OK-Dehiszenz von $0,61 \text{ cm}$ ließ sich bei einem OK1/NL-Winkel von $+6^\circ$ bis $+10^\circ$ erkennen (Abb. 4.11). Der Vergleich zwischen den Differenz-Intervallen des OK-Frontzahninklinationswinkels mit der Größe der Dehiszenzen im OK ergab keine signifikanten Unterschiede ($p = 0,532$).

4.4.3 Dehiszenzen UK

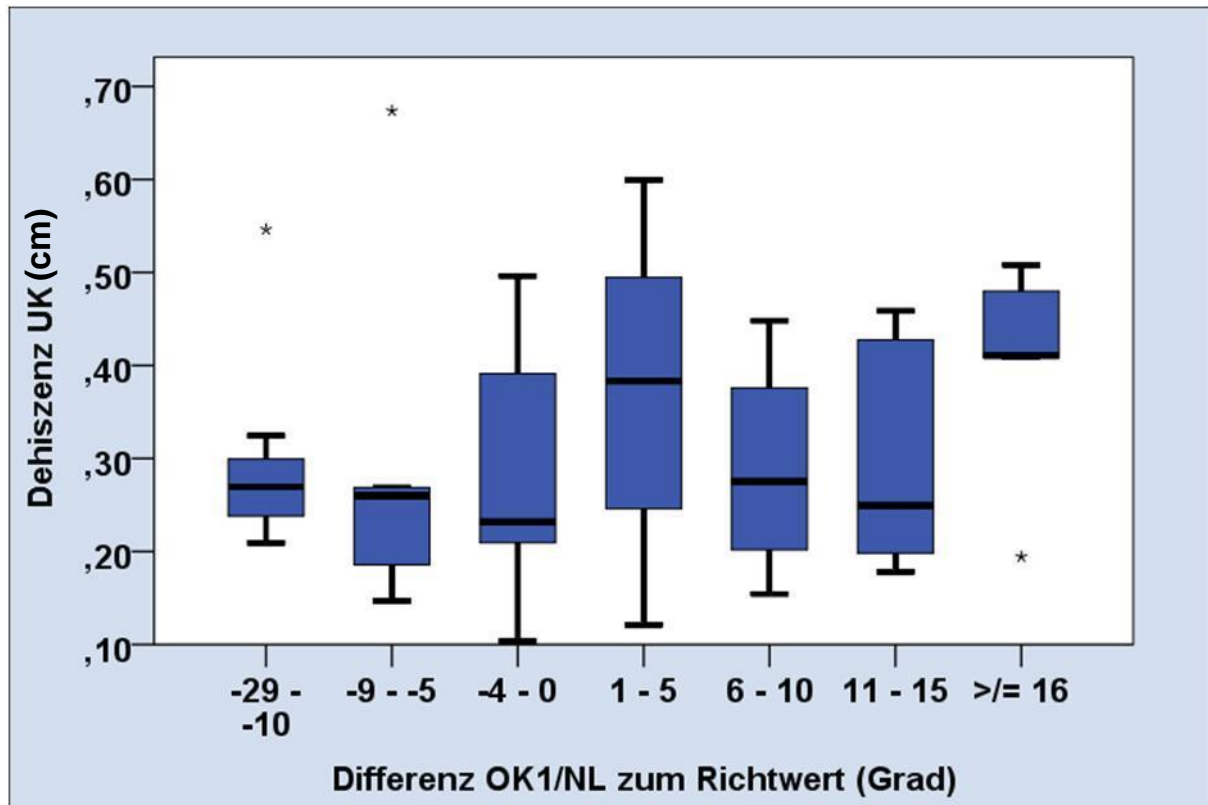


Abb. 4.12: Einordnung der Dehiszenzen im UK (Angaben in cm) in die festgelegten Differenzintervalle (Angaben in °) zum OK1/NL-Winkel von 107°

Bei proklinierter OK-Front traten im Unterkiefer Dehiszenzen von durchschnittlich $0,29 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}$ bis $0,4 \text{ cm} \pm 0,12 \text{ cm}$ auf. Bei retrudierter OK-Front waren mittlere Dehiszenzen im Unterkiefer von $0,28 \text{ cm} \pm 0,11 \text{ cm}$ bis $0,31 \text{ cm} \pm 0,21 \text{ cm}$ zu sehen. Die maximale Dehiszenz aller Zähne im Unterkiefer betrug bei einem OK-Frontzahninklinationswinkel von $+11^\circ$ bis $+15^\circ$ $0,85 \text{ cm}$ (Abb. 4.12). Der Kruskal-Wallis-Test verzeichnete beim Vergleich der Größe der Dehiszenzen im Unterkiefer mit den Differenzintervallen des OK-Frontzahninklinationswinkels keine signifikanten Unterschiede ($p = 0,549$).

5 Diskussion

In der Literatur wird kontrovers diskutiert, ob eine kieferorthopädische Behandlung zur Entstehung von Dehiszenzen und Fenestrationsen beiträgt [2] [84] [67] [55] [44] [72] [27] [3]. Aus diesem Grund wurde in dieser Studie erforscht, in welcher Größe alveoläre Knochendefekte ohne kieferorthopädische Behandlung in der 2. Dentition in der Bevölkerung auftreten. Dies geschah mittels digitaler Volumentomographiebilder. Eine derartige Studie ist bisher in der Literatur noch nicht zu finden.

5.1 Diskussion über Auswahl des Materials und der Methodik

Die Reproduzierbarkeit der DVT-Bilder und ihre Standardisierung wurden durch die Nutzung desselben Volumentomographs und die Anwendung von Lichtvisieren zur Positionierung der Patienten gewährleistet. Durch die Kopf- und Kinnstütze wurden alle Patienten in dem DVT gleichermaßen fixiert, was eine Verzerrung der 3D-Darstellung des Kiefers unmöglich machte.

Die genaue Darstellung von Zahn- und Knochenstrukturen im DVT wurde in der Literatur bereits evaluiert. So wurde in zwei Studien nachgewiesen, dass die anatomischen Strukturen hierbei im Gegensatz zum Orthopantomographen in ihrer exakten Lage und ohne Verzerrungen und Überlagerungen genauer beurteilt werden können. In der Dissertation von KLINGBERG wurden hierfür 45 Bildpaare von 3 Untersuchern hinsichtlich 13 anatomischer Strukturen analysiert [32]. In der Studie von OTTO wurden 15 Bildpaare von 10 Untersuchern hinsichtlich 6 anatomischer Strukturen bewertet [58]. Diese detailgetreue Darstellung des DVTs bewies PULSFORT in seiner Dissertation im Vergleich zum Multidetektor-Computertomogramm ebenfalls [64]. Der einzige Vorteil des CTs liegt im geringeren vorhandenen Bildrauschen [37]. Artefakte durch Metallfüllungen und Kronen können jedoch im DVT nicht verhindert werden und daher die Auswertungen beeinträchtigen [51]. FUHRMANN *et al.* beobachteten, dass eine Knochendicke von weniger als 0,5 mm im DVT relativ genau dargestellt wird [16]. Im Gegensatz hierzu wurde von Ozmeric *et al.* festgestellt, dass ein Parodontalspalt, der weniger als 200 µm beträgt, nicht im DVT wiedergegeben werden kann [59]. Um aber in dieser Studie DVT-Bilder mit hoher Auflösung zu schaffen, wurde von der kieferorthopädisch-oralchirurgischen Praxis die Voxelgröße auf 0,125 mm gesetzt [4]. Allerdings sollte man dies von Patient zu Patient genauestens abwägen, da eine höhere Voxelgröße auch mit einer erhöhten Strahlenbelastung einhergeht [90].

Die Auswertungen der DVT-Aufnahmen sowohl mit der Software Osirix zur Dehiszenz- und Fenestrationsbestimmung als auch mit der Software OnDemand3D zur Bestimmung des OK-

Frontzahninklinationswinkels wurden von einer Person durchgeführt. So wurden Fehler bei der Positionierung der Messpunkte minimiert.

Eine Homogenität und Vergleichbarkeit der Ergebnisteile wurden durch die speziellen Einschlusskriterien der einzelnen Auswertungen geschaffen.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

5.2.1 Dehiszenzen, Fenestrationen und der OK1/NL-Winkel

5.2.1.1 Dehiszenzen

Die vorliegende Studie zeigt, dass im Oberkiefer größere Dehiszenzen auftreten als im Unterkiefer. Im Oberkiefer weisen die Eckzähne und die Molaren im Mittel die längsten Dehiszenzen auf. Im Unterkiefer konnten bei den Prämolaren und den Eckzähnen die längsten Dehiszenzen gemessen werden. Die längste Dehiszenz wurde bei den OK-Molaren und bei den UK-Eckzähnen gemessen. Schon DAVIES *et al.* stellten in ihrer Studie an 398 britischen Menschenschädeln fest, dass Dehiszenzen am häufigsten an den ersten OK-Molaren und an den UK-Eckzähnen zu finden sind [8]. Dieses Ergebnis wurde von RUPPRECHT *et al.* und NIMIGEAN *et al.* bestätigt [68] [57]. RUPPRECHT *et al.* untersuchten 819 Oberkieferzähne und 857 Unterkieferzähne. Dehiszenzen fanden sich bei 5,5% der Zähne im Oberkiefer und bei 4,9% im Unterkiefer [68]. NIMIGEAN *et al.* untersuchten nicht nur die beiden Kiefer, sondern auch die einzelnen Zähne und Zahngruppen, wobei sich die Ergebnisse der damaligen Untersuchung mit denen in der vorliegenden Studie decken. Die meisten Dehiszenzen befinden sich in ihrer Studie im Unterkiefer an den Eckzähnen (40,65%), an den ersten Prämolaren (18,06%) und im Oberkiefer an den Eckzähnen (17,42%) [57]. Allerdings sind diese Studien mit der vorliegenden Untersuchung nur bedingt vergleichbar, da unterschiedliche Methoden benutzt wurden. Die beiden vorangegangenen Studien analysierten die alveolären Defekte anhand toter Menschenschädel, während in der vorliegenden Arbeit auf DVT von lebenden Menschen zurückgegriffen wurde. Dieselbe Untersuchungsmethode wurde von EVANGELISTA *et al.* angewandt. Diese fanden jedoch heraus, dass im Oberkiefer vermehrt Dehiszenzen auftraten, dort aber am häufigsten die Eckzähne, die Prämolaren und ersten Molaren (18,73%, 18,45%, 18,27%) betroffen waren [13]. Dies könnte daran gelegen haben, dass EVANGELISTA *et al.* eine höhere Voxelgröße von 0,25 mm eingestellt hatten und die Bilder nicht mittels einer 3D-Darstellung der Kiefer ausgewertet wurden. Ebenfalls könnte die Tatsache eine Rolle gespielt haben, dass mehr hellhäutige als dunkelhäutige Patienten an der Studie beteiligt waren und dies nicht berücksichtigt worden ist [68] [4]. Weiterhin beschrieben die Autoren auch, dass im

Unterkiefer vermehrt die Frontzähne Dehiszenzen aufweisen, was auf die Tatsache zurückgeführt werden kann, dass in ihrer Studie Patienten der Angle-Klasse II,1 besonders berücksichtigt wurden. Es ist jedoch zu beachten, dass alle erwähnten Studien nur die Häufigkeit des Vorkommens der Dehiszenzen untersuchten, jedoch nicht die Länge. Aus diesem Grund sind diese Studien nur bedingt mit der vorliegenden Arbeit zu vergleichen. Besonders zu beachten ist, dass bereits 25% der Patienten in der vorliegenden Studie sowohl in den Zahngruppen des Oberkiefers als auch in denen des Unterkiefers vestibuläre alveoläre Knochendefekte von 0,37–1,36 cm aufweisen.

Im Hinblick auf Veränderungen des vestibulären alveolären Knochendefekts mit zunehmendem Alter sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer konnte ein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden. Die Einteilung der 134 Patienten anhand des Medianwertes erfolgte in zwei Altersgruppen. Dadurch wurde eine annähernd gleiche Personenanzahl in beiden Altersgruppen erreicht. Allerdings wurden, mit dem Ziel eine Vergleichbarkeit zu schaffen, nur die Patienten in diesen Ergebnisteilen berücksichtigt, bei denen alle Zähne für die einzelnen Ergebnisse vorhanden waren und Messwerte aufwiesen. Zugunsten dieser Tatsache musste jedoch auf eine gleichmäßige Verteilung der Altersgruppen verzichtet werden. Sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer, wurde in dieser Studie mit zunehmendem Alter ein signifikanter länger werdender bukkaler Knochenverlust festgestellt. In der Literatur wurde bisher nur von einem vermehrten Vorkommen von Dehiszenzen gesprochen. RUPPRECHT *et al.* zeigten, dass bei den 17- bis 39-jährigen die Anzahl der Dehiszenzen an den Zähnen von 3,2% auf 5,5% zunahmen und in der Altersspanne von 40–87 Jahren wieder deutlich abnahmen (von 5,0% auf 2,9%) [68]. Das gleiche Phänomen beobachteten NIMIGEAN *et al.* ebenfalls. In der Altersklasse von 21–44 Jahren erhöhte sich die Anzahl der Dehiszenzen von 3,6% auf 5,2% und fiel in der Altersklasse von 45–54 Jahren auf 4,6% ab [57]. Der Grund für den Rückgang lag wohl darin, dass sowohl bei RUPPRECHT *et al.* als auch bei NIMIGEAN *et al.* die mittlere Anzahl der Zähne pro Schädel mit steigender Altersklasse zurückging. Bei RUPPRECHT *et al.* ergab sich ein Durchschnittswert von 27,8 Zähnen pro Schädel in der Altersklasse von 17–29 Jahren, der in der Altersklasse von 70–87 Jahren auf 19 Zähne pro Schädel absank [68]. Ein ähnlicher Rückgang belief sich bei NIMIGEAN *et al.* von 27,5 Zähnen pro Schädel in der Altersklasse von 21–34 Jahren auf 24 Zähne pro Schädel in der Altersklasse von 45–54 Jahren [57]. Dies wurde in der vorliegenden Arbeit insofern berücksichtigt, dass von den 134 Patienten, nur die Patienten in die jeweilige statistische Auswertung integriert wurden, bei denen alle Zähne und die für die jeweilige Auswertung benötigten Messwerte vorhanden waren.

Bezüglich des Geschlechts weisen die Frauen im Mittel in beiden Kiefern eine Dehiszenz mit größerem Ausmaß (0,33 cm–0,35 cm) im Vergleich zu den Männern auf. Diese zeigen im Mittel eine Dehiszenz der Größe von 0,27 cm–0,31 cm. Es konnte keine Signifikanz nachgewiesen werden. Dies führt dazu, dass man aus den Ergebnissen der vorliegenden Auswertung nicht auf die Allgemeinheit schließen sollte. Allerdings zeigt sich trotz mangelnder Signifikanz ein ähnliches Ergebnis wie in der Studie von RUPPRECHT *et al.* Die Autoren untersuchten 146 amerikanische Schädel (w = 55,5%, m = 44,5%) mit einer Anzahl von 3315 Zähnen (w = 1441, m = 1874). Sie stellten dabei fest, dass die weiblichen Schädel mehr Dehiszenzen (w = 4,9%, m = 3,5%) und Fenestrationen (w = 11,8%, m = 6,8%) aufweisen als die männlichen Schädel [68]. Allerdings gingen auch sie nicht auf das unterschiedliche Ausmaß des Knochenverlustes zwischen beiden Geschlechtern ein. Berücksichtigt man aber in der vorliegenden Studie, in der der Frauenanteil höher war, die Ergebnisse von RUPPRECHT *et al.*, könnte dies hier in den vom Geschlecht unabhängigen statistischen Ergebnissen zu einem erhöhten Mittelwert geführt haben [68].

Vergleicht man nun die Ergebnisse der hier vorliegenden Studie mit der Literatur, so lässt sich eine Korrelation zwischen der Häufigkeit des Vorkommens einer Dehiszenz und der Länge der Dehiszenz feststellen. Dies bezieht sich auf beide Kiefer, auf die Zahngruppen, die Altersgruppen und auf das Geschlecht. Wie bereits erwähnt geht aus der vorliegenden Auswertung hervor, dass bereits 75% der Patienten in der Altersgruppe von 18–72 Jahren ohne kieferorthopädische Behandlung an den Zähnen der Zahngruppen sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer einen Knochenverlust von 0,2 cm–1,36 cm aufweisen. Dagegen weisen 25% der Patienten Knochenverluste von 0,37 cm–1,36 cm auf. Aufgrund dieser Tatsache sollte man bei einer kieferorthopädischen Behandlung berücksichtigen, dass das Risiko einer Vergrößerung der Dehiszenz an den nach bukkal zu bewegenden Zähnen besteht. Um dieses Risiko besser abschätzen zu können, wurden in der Literatur einige Ansätze beschrieben. TSUNORI *et al.* untersuchten 39 Schädel mittels CT, die sich gleichmäßig in die drei Gesichtsformen kurz, normal und lang aufteilen ließen. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass man von der Gesichtsform auf die Dicke des bukkalen Knochens schließen kann. Menschen mit langen Gesichtsformen haben einen dünneren bukkalen Knochen als Menschen mit kurzen Gesichtsformen [75]. Die Autoren gingen allerdings nicht darauf ein, ob sich deshalb vermehrt Dehiszenzen bilden. In der schon erwähnten Studie von RUPPRECHT *et al.* wurde auf diesen Zusammenhang eingegangen. Bei der Untersuchung von 59 Schädeln wurden bei dünnen Knochenschichten vermehrt alveoläre Knochendefekte gefunden. Allerdings wurde hier nur unter Sicht auf den Interdentalraum die Dicke des Knochens abgeschätzt und dieser

in die drei Dicken (dünn, mittel, dick) eingeteilt [68]. NIMIGEAN *et al.* stellten für alle Zähne mit Dehiszenz oder Fenestration fest, dass sich der bukkolinguale Inklinationswinkel im Gegensatz zum Normwert, der für jeden Zahn von DEMPSTER *et al.* festgesetzt wurde, verkleinert [9] [57]. In der Studie von EVANGELISTA *et al.* wurde herausgefunden, dass Patienten mit einer Angle-Klasse I mehr alveoläre Knochendefekte aufweisen als solche mit einer Angle-Klasse II,1 [13]. YAGCI *et al.* untersuchten, ob es Unterschiede im Vorkommen von Knochendefekten innerhalb der drei skelettalen Klassen gibt. Hier konnten signifikante Unterschiede aber nur in Bezug auf die Fenestrationen in einem vermehrten Vorkommen bei Patienten mit Angle-Klasse II festgestellt werden [86]. Alle genannten Studien berücksichtigten jedoch dabei nicht, wie groß die alveolären Knochendefekte waren.

5.2.1.2 Fenestrationen

Aufgrund des geringen Vorkommens von Fenestrationen in der vorliegenden Studie (n = 4% von 2813 Zähnen) konnte keine analytische Statistik durchgeführt werden und diese nicht in Zusammenhang mit Alter und Geschlecht und dem OK1/NL-Winkel gesetzt werden, da dies zu einer falschen Allgemeinaussage geführt hätte. Aus dem Ergebnisteil geht hervor, dass die größten Fenestrationen im Oberkiefer vorkommen (OK MAX: 0,32 cm UK MAX: 0,19 cm). Die Medianwerte zeigen, dass die größten Fenestrationen im Unterkiefer vorkommen (OK MEDIAN: 0,06 cm, UK MEDIAN: 0,12 cm). Allerdings sind diese Auswertungen mit großer Vorsicht zu betrachten, da für den Unterkiefer nur 5 Zähne einbezogen wurden. Das gleiche gilt für die Auswertungen in den Zahngruppen, da die Anzahl der Zähne, die zur Auswertung herangezogen wurden, im Oberkiefer unter 20 und im Unterkiefer sogar unter 10 lagen. Die OK-Eckzähne bezogen auf den Median (OK-Eckzähne MEDIAN: 0,3 cm) verzeichnen im Oberkiefer die längsten Fenestrationen. Im Unterkiefer wurde die längsten Fenestrationen bezogen auf den Median an den UK-Eckzähnen (UK-Eckzähne MEDIAN: 0,50 cm) und den UK-Molaren (UK-Molaren MEDIAN: 0,42 cm) gemessen (Abb. 4.5, Abb. 4.6). Insgesamt kann man in der vorliegenden Dissertation nur ein geringes Vorkommen von Fenestrationen nachweisen (4% von 2813 Zähnen), was in der Literatur auch divers beschrieben wird. Bei NIMIGEAN *et al.* wurden Fenestrationen nur bei 1,1% von insgesamt 3646 Zähnen diagnostiziert [57]. Bei RUPPRECHT *et al.* wiesen allerdings 9% von 3315 untersuchten Zähnen Fenestrationen auf [68]. Dieses Phänomen könnte unterschiedliche Gründe gehabt haben. Erstens unterschied sich die Form des Alveolarknochens in Dicke, Kontur und Konfiguration aufgrund der embryonalen Entwicklung des Kieferknochens, der sich aus anderem Knochengewebe als das restliche Skelett zusammensetzte, von Patient zu Patient. Daher kam es bei dünnen Alveolarknochen zu einem vermehrten

Knochenverlust [68] [56]. Zweitens zeigten RUPPRECHT *et al.*, dass dunkelhäutige Personen häufiger Dehiszenzen und Fenestrationsen aufweisen als hellhäutige, was die erhöhte Fenestrationsanzahl in seiner Studie erklärte [68]. Drittens änderte sich die Knochendicke im Unterkiefer in Abhängigkeit von der Gesichtsform. Personen mit kurzen Gesichtsformen haben einen dickeren bukkalen Knochen als Personen mit langen Gesichtsformen, weshalb es so wichtig ist, vor einer kieferorthopädischen Behandlung die Gesichtsform des Patienten zu bestimmen, um die Gefahr von Dehiszenzen und Fenestrationsen zu minimieren [75].

5.2.1.3 OK1/NL-Winkel

Von 134 Patienten konnte bei 119 der OK-Frontzahninklinationswinkel vermessen werden. Bei 56,4% liegt eine Protrusion der OK-Frontzähne vor. 43,6% sind entweder retrudiert oder besitzen einen Normwert von 107° . Die wenigsten Patienten befinden sich in den beiden Randgruppen, die sich $\leq -10^\circ$ und $\geq +16^\circ$ vom Richtwert von 107° unterscheiden. Der Mittelwert dieser Studie von 109° unterscheidet sich vom Richtwert von 107° um $+2^\circ$. Dies ist aller Wahrscheinlichkeit nach darauf zurückzuführen, dass die erste Priorität in dieser Studie nicht auf ein einheitliches Knochen- und Zahnprofil gelegt wurde. Bei einzelner Betrachtung der Auswirkung der Inklination der OK-Frontzähne auf den vestibulären koronalen Knochen der Zähne fiel auf, dass die längsten Dehiszenzen bei protrudierten OK-Frontzähnen vorkommen. Aber auch die längsten Dehiszenzen im Mittel befinden sich in allen drei Auswertungen im protrudierten Bereich. Der längste Mittelwert von 0,41 cm in Oberkiefer und Unterkiefer zusammen befindet sich bei einem Protrusionsgrad von $\geq +16^\circ$ vom Richtwert, dicht gefolgt von dem Mittelwert 0,38 cm der bei einem Protrusionsgrad von $+1^\circ$ bis $+5^\circ$ vom Richtwert zu finden ist. Im Oberkiefer befinden sich die längsten mittleren Dehiszenzen bei einer Abweichung des Inklinationswinkels von der Norm von $+11^\circ$ bis $+15^\circ$ (Mittelwert: 0,36 cm), von $+6^\circ$ bis $+10^\circ$ (Mittelwert: 0,36 cm) und von $+1^\circ$ bis $+5^\circ$ (Mittelwert: 0,35 cm). Im Unterkiefer ist die längste mittlere Dehiszenz bei einem Protrusionsgrad von $\geq +16^\circ$ vom Richtwert (Mittelwert: 0,40 cm), von $+1^\circ$ bis $+6^\circ$ (Mittelwert: 0,37 cm) und von $+11^\circ$ bis $+16^\circ$ (Mittelwert: 0,35 cm) aufzufinden. Die Ergebnisse sind nicht signifikant. Ein Vergleich mit der Literatur war nicht möglich, da es keine Untersuchungen in diesem Zusammenhang gab. Trotzdem bleibt festzuhalten, dass gerade bei protrudierten OK-Frontzähnen sowohl vermehrt große als auch die längsten Dehiszenzen auftreten, wobei dies im Mittel bei einer Abweichung vom Richtwert um $+1^\circ$ bis $+5^\circ$ am häufigsten geschieht. Trotz der geringen Patientenzahl in diesem Bereich bleibt dieser Wert weitestgehend in allen drei Auswertungstabellen konstant.

5.3 Schlussfolgerung

Es ist festzuhalten, dass 25% der in die Auswertung eingeschlossenen, kieferorthopädisch unbehandelten Patienten in den Zahngruppen des Oberkiefers und Unterkiefers Dehiszenzen von 0,37 cm bis 1,36 cm aufweisen. Bereits 75% der Patienten zeigen in den Zahngruppen des Oberkiefers und Unterkiefers Fenestrationen von 0,11 cm bis 0,79 cm. Die OK-Molaren, OK-Eckzähne, UK-Prämolaren und UK-Eckzähne weisen im Mittel die längsten Dehiszenzen und die OK-Eckzähne, UK-Eckzähne sowie die UK-Molaren im Mittel die längsten Fenestrationen auf. Die Länge der Dehiszenzen nimmt mit dem Alter zu und ist geschlechtsabhängig. Längere Dehiszenzen treten in beiden Kiefern vorwiegend bei protrudierter OK-Front auf. Basierend auf diesen Ergebnissen erscheint eine genaue Diagnostik vor einer geplanten kieferorthopädischen Behandlung unumgänglich, da dies eine Reduzierung des Risikos einer Vergrößerung alveolärer Knochendefekte bewirkt. Im Zuge einer kieferorthopädischen Behandlung sollte vor strahlungsintensiven DVT-Aufnahmen, das Vorkommen und Ausmaß von alveolären Knochendefekten mittels klinischer und radiologischer zweidimensionaler Untersuchung evaluiert werden, um das Voranschreiten der alveolären Knochendefekte besser abschätzen zu können. Dies könnte mit einigen in der Literatur bereits beschriebenen Verfahren durchgeführt werden. Dazu zählt die Feststellung der Gesichtsform, um auf die Knochendicke zu schließen. Zwei weitere wichtige Faktoren sind die Auswertung der Angle-Klassen und der skelettalen Klassen. Die Wichtigkeit der Evaluierung des Gingivatyps darf nicht missachtet werden, da eine Dicke der befestigten Gingiva, die geringer als 0,5 mm ist, zu einem erhöhten Risiko einer gingivalen Rezession führt. Schließlich bleibt als letztes die Messung des OK-Frontzahninkinationswinkels [75] [87] [13] [86]. Diese Auswertungen können zwar auf ein vermehrtes Vorkommen von alveolären Knochendefekten hinweisen, diese jedoch nicht ausschließen. Deshalb sollte von Patient zu Patient entschieden werden, ob ein DVT nötig ist. Jedoch sollte gerade bei den Zähnen/Zahngruppen mit den längsten Dehiszenzen und Fenestrationen ein DVT bei kieferorthopädischen Bukkalbewegungen in Betracht gezogen werden. In diesem Kontext bietet sich für zukünftige Forschungen die Fragestellung an, um wie viel Millimeter ein Zahn mit bestehender Dehiszenz oder Fenestration nach bukkal bewegt werden kann, ohne dass sich der alveoläre Knochendefekt vergrößert. Grundsätzlich sollte aber bedacht werden, dass sich bestehende alveoläre Knochendefekte durch schnelle Bukkalbewegungen vergrößern können. Gerade bei der chirurgischen Erweiterung des Oberkiefers sind beim Brechen der *Sutura palatina* die OK-Eckzähne hohen Belastungen ausgesetzt. Aus diesem Grund könnte die Untersuchung der parodontalen Strukturen und des Gingivatyps unumgänglich sein, da ein

bestehender alveolärer Knochendefekt je nach Umfang zu weiterem Knochenabbau führen kann [17]. Eine DVT könnte somit ein wichtiges diagnostisches Hilfsmittel bei der Planung von kieferorthopädischen Bukkalbewegungen, Protrusion von Frontzähnen oder der Erweiterung des Zahnbogens sein.

6 Anhang

N	134
Mittelwert	39,51
Standardabweichung	12,4
Minimum	18
Maximum	72

Tab. 6.1: Alter des Patientenkollektivs (Angabe in Jahren)

N	Gültig	63
	Fehlend	71
Mittelwert		0,33
Median		0,32
Standardabweichung		0,12
Minimum		0,14
Maximum		0,61
Perzentile	25	0,24
	75	0,38

Tab. 6.2: Deskriptive Statistik der Dehiszenzen im OK (Angaben in cm) (N Gültig: Patienten, bei denen alle OK-Zähne vorhanden waren; N Fehlend: Patienten, bei denen nicht alle OK-Zähne vorhanden waren; die statistisch ausgerechneten Werte beziehen sich auf N Gültig)

		Dehiszenz OK Molaren	Dehiszenz OK Prämolaren	Dehiszenz OK Eckzähne	Dehiszenz OK Schneide- zähne
N	Gültig	101	77	121	118
	Fehlend	33	57	13	16
Mittelwert		0,41	0,32	0,41	0,3
Median		0,34	0,31	0,38	0,28
Standardabweichung		0,25	0,14	0,22	0,14
Minimum		0,00	0,08	0,00	0,00
Maximum		1,36	0,81	1,15	0,79
Perzentile	25	0,26	0,22	0,26	0,21
	75	0,47	0,40	0,49	0,37

Tab. 6.3: Einordnung der Dehiszenzen im OK in die Zahngruppen (Angaben in cm) (N Gültig: Patienten, bei denen Messwerte aller Zähne der spezifischen Zahngruppe im OK vorhanden waren; N Fehlend: Patienten, bei denen nicht Messwerte aller Zähne der spezifischen Zahngruppe im OK vorhanden waren; die statistisch ausgerechneten Werte beziehen sich auf N Gültig)

N	Gültig	68
	Fehlend	66
Mittelwert		0,32
Median		0,30
Standardabweichung		0,15
Minimum		0,10
Maximum		0,85
Perzentile	25	0,21
	75	0,41

Tab. 6.4: Deskriptive Statistik der Dehiszenzen im UK (Angaben in cm) (N Gültig: Patienten, bei denen Messwerte aller UK-Zähne vorhanden waren; N Fehlend: Patienten, bei denen nicht Messwerte aller UK-Zähne vorhanden waren; die statistisch ausgerechneten Werte beziehen sich auf N Gültig)

		Dehiszenz UK Molaren	Dehiszenz UK Prämolaren	Dehiszenz UK Eckzähne	Dehiszenz UK Schneide- zähne
N	Gültig	84	97	127	125
	Fehlend	50	37	7	9
Mittelwert		0,35	0,35	0,36	0,34
Median		0,27	0,32	0,30	0,30
Standardabweichung		0,19	0,15	0,22	0,19
Minimum		0,12	0,10	0,00	0,00
Maximum		0,98	0,89	1,23	1,04
Perzentile	25	0,21	0,24	0,22	0,20
	75	0,48	0,42	0,43	0,44

Tab. 6.5: Einordnung der Dehiszenzen im UK in die Zahngruppen (Angaben in cm) (N Gültig: Patienten, bei denen Messwerte aller Zähne der spezifischen Zahngruppe im UK vorhanden waren; N Fehlend: Patienten, bei denen nicht Messwerte aller Zähne der spezifischen Zahngruppe im UK vorhanden waren; die statistischen ausgerechneten Werte beziehen sich auf N Gültig)

N Gültig	64
Fehlend	70
>0	22
Mittelwert	0,10
Median	0,06
Standardabweichung	0,09
Minimum	0,01
Maximum	0,32
Perzentile 25	0,04
75	0,12

Tab. 6.6: Deskriptive Statistik der Fenestrationen im OK (Angaben in cm) (N Gültig: Patienten, bei denen Messwerte aller OK-Zähne vorhanden waren; N Fehlend: Patienten, bei denen nicht Messwerte aller OK-Zähne vorhanden waren; N>0: Patienten, bei denen Messwerte aller OK-Zähne und Fenestrationen > 0,00 cm vorhanden waren; die statistisch ausgerechneten Werte beziehen sich auf N>0)

	Fenestrationen OK-Molaren	Fenestrationen OK-Prämolaren	Fenestrationen OK-Eckzähne	Fenestrationen OK-Schneidezähne
N Gültig	102	77	121	119
Fehlend	32	57	13	15
>0	13	18	17	10
Mittelwert	0,29	0,19	0,34	0,20
Median	0,19	0,14	0,30	0,14
Standardabweichung	0,23	0,13	0,21	0,15
Minimum	0,10	0,06	0,06	0,09
Maximum	0,78	0,53	0,79	0,55
Perzentile 25	0,15	0,11	0,16	0,11
75	0,37	0,21	0,45	0,26

Tab. 6.7: Einordnung der Fenestrationen im OK in die Zahngruppen (Angaben in cm) (N Gültig: Patienten, bei denen Messwerte aller Zähne der spezifischen Zahngruppe im OK vorhanden waren; N Fehlend: Patienten, bei denen nicht Messwerte aller Zähne der spezifischen Zahngruppe im OK vorhanden waren; N>0: Patienten, bei denen Messwerte aller Zähne der spezifischen Zahngruppe im OK und Fenestrationen > 0,00 cm vorhanden waren; die statistisch ausgerechneten Werte beziehen sich auf N>0)

N Gültig	68
Fehlend	66
>0	5
Mittelwert	0,10
Median	0,12
Standardabweichung	0,08
Minimum	0,01
Maximum	0,19
Perzentile 25	0,04
75	0,15

Tab. 6.8: Deskriptive Statistik der Fenestrationen im UK (Angaben in cm) (N Gültig: Patienten, bei denen Messwerte aller UK-Zähne vorhanden waren; N Fehlend: Patienten, bei denen nicht Messwerte aller UK-Zähne vorhanden waren; N>0: Patienten, bei denen Messwerte aller UK-Zähne und Fenestrationen > 0,00 cm vorhanden waren; die statistisch ausgerechneten Werte beziehen sich auf N>0)

	Fenestrationen UK-Molaren	Fenestrationen UK-Prämolaren	Fenestrationen UK-Eckzähne	Fenestrationen UK-Schneidezähne
N Gültig	84	97	127	126
Fehlend	50	37	7	8
>0	1	6	1	2
Mittelwert	0,42	0,24	0,50	0,20
Median	0,42	0,16	0,50	0,20
Standardabweichung	0,00	0,27	0,00	0,10
Minimum	0,42	0,05	0,50	0,13
Maximum	0,42	0,77	0,50	0,27
Perzentile 25	0,42	0,12	0,50	0,16
75	0,42	0,17	0,50	0,24

Tab. 6.9: Einordnung der Fenestrationen im UK in die Zahngruppen (Angaben in cm) (N Gültig: Patienten, bei denen Messwerte aller Zähne der spezifischen Zahngruppe im UK vorhanden waren; N Fehlend: Patienten, bei denen nicht Messwerte aller Zähne der spezifischen Zahngruppe im UK vorhanden waren; N>0: Patienten, bei denen Messwerte aller Zähne der spezifischen Zahngruppe im UK und Fenestrationen > 0,00 cm vorhanden waren; die statistisch ausgerechneten Werte beziehen sich auf N>0)

Alter	Mittelwert	Standard- abweichung	Median	Minimum	Maximum	N
<= 40	0,29	0,10	0,26	0,16	0,65	37
41+	0,44	0,12	0,48	0,27	0,64	9
Insgesamt	0,32	0,12	0,29	0,16	0,65	46

Tab. 6.10: Mittelwert Dehiszenz in OK und UK zusammen (Angabe in cm) nach verschiedenen Altersgruppen (Angabe in Jahren) (N: Patienten, bei denen Messwerte aller Zähne im OK und UK vorhanden waren)

Alter	Mittelwert	Standard- abweichung	Median	Minimum	Maximum	N
<= 40	0,30	0,11	0,31	0,14	0,61	47
41+	0,40	0,12	0,40	0,22	0,61	16
Insgesamt	0,33	0,12	0,32	0,14	0,61	63

Tab. 6.11: Dehiszenzen im OK (Angaben in cm) nach verschiedenen Altersgruppen (Angabe in Jahren) (N: Patienten, bei denen Messwerte aller Zähne im OK vorhanden waren)

Alter	Mittelwert	Standard- abweichung	Median	Minimum	Maximum	N
<= 40	0,29	0,12	0,25	0,10	0,70	49
41+	0,42	0,17	0,43	0,12	0,85	19
Insgesamt	0,32	0,15	0,27	0,10	0,85	68

Tab. 6.12: Dehiszenzen im UK (Angaben in cm) nach verschiedenen Altersgruppen (Angabe in Jahren) (N: Patienten, bei denen Messwerte aller Zähne im UK vorhanden waren)

Geschlecht	Mittelwert	Standard-abweichung	Median	Minimum	Maximum	N
m	0,28	0,09	0,28	0,16	0,53	16
w	0,34	0,13	0,32	0,16	0,65	30
Insgesamt	0,32	0,12	0,29	0,16	0,65	46

Tab. 6.13: Mittelwert der Dehiszenzen im OK und UK zusammen (Angabe in cm) nach Geschlechtern (m=männlich, w=weiblich) (N: Patienten, bei denen Messwerte aller Zähne im OK und UK vorhanden waren)

Geschlecht	Mittelwert	Standard-abweichung	Median	Minimum	Maximum	N
m	0,31	0,13	0,32	0,14	0,61	20
w	0,33	0,11	0,32	0,16	0,61	43
Insgesamt	0,33	0,12	0,32	0,14	0,61	63

Tab. 6.14: Dehiszenzen im OK (Angaben in cm) nach Geschlechtern (Angaben in m, w) (N: Patienten, bei denen Messwerte aller Zähne im OK vorhanden waren)

Geschlecht	Mittelwert	Standard-abweichung	Median	Minimum	Maximum	N
m	0,27	0,11	0,24	0,10	0,50	21
w	0,35	0,16	0,33	0,12	0,85	47
Insgesamt	0,32	0,15	0,27	0,10	0,85	68

Tab. 6.15: Dehiszenzen im UK (Angaben in cm) nach Geschlechtern (Angaben in m, w) (N: Patienten, bei denen Messwerte aller Zähne im UK vorhanden waren)

Differenz OK1/NL zu Richtwert	Mittelwert	Standard-abweichung	Median	Minimum	Maximum	N
-29 - -10	0,35	0,11	0,32	0,27	0,50	4
-9 - -5	0,22	0,06	0,21	0,16	0,29	4
-4 - 0	0,29	0,06	0,26	0,22	0,37	9
1 - 5	0,38	0,05	0,40	0,31	0,42	3
6 - 10	0,31	0,11	0,30	0,16	0,53	11
11 - 15	0,33	0,16	0,28	0,17	0,64	8
>= 16	0,41	0,05	0,41	0,37	0,46	3
Insgesamt	0,32	0,12	0,30	0,16	0,64	42

Tab. 6.16: Mittelwert der Dehiszenzen von OK und UK zusammen (Angaben in cm) im Bezug zu den festgelegten Differenzintervalle (Angaben in °) zum OK1/NL-Winkel von 107° (N: Patienten, bei denen Messwerte aller Zähne im OK und UK vorhanden waren)

Differenz OK1/NL zum Richtwert	Mittelwert	Standard- abweichung	Median	Minimum	Maximum	N
-29 - -10	0,35	0,10	0,32	0,22	0,45	5
-9 - -5	0,26	0,08	0,24	0,16	0,38	10
-4 - 0	0,31	0,03	0,32	0,25	0,35	12
1 - 5	0,35	0,09	0,32	0,24	0,49	5
6 - 10	0,36	0,14	0,34	0,17	0,61	14
11 - 15	0,36	0,15	0,32	0,16	0,59	9
>= 16	0,33	0,13	0,30	0,23	0,51	4
Insgesamt	0,33	0,11	0,32	0,16	0,61	59

Tab. 6.17: Dehiszenzen im OK (Angaben in cm) im Bezug zu den festgelegten Differenzintervallen (Angaben in °) zum OK1/NL-Winkel von 107° (N: Patienten, bei denen Messwerte aller Zähne im OK vorhanden waren)

Differenz OK1/NL zum Richtwert	Mittelwert	Standard- abweichung	Median	Minimum	Maximum	N
-29 - -10	0,3	0,11	0,27	0,21	0,55	7
-9 - -5	0,31	0,21	0,26	0,15	0,67	5
-4 - 0	0,28	0,11	0,23	0,10	0,50	17
1 - 5	0,37	0,17	0,38	0,12	0,60	8
6 - 10	0,29	0,10	0,28	0,15	0,45	12
11 - 15	0,35	0,22	0,25	0,18	0,85	9
>= 16	0,40	0,12	0,41	0,19	0,51	5
Insgesamt	0,32	0,14	0,27	0,10	0,85	63

Tab. 6.18: Dehiszenzen im UK (Angaben in cm) im Bezug zu den festgelegten Differenzintervallen (Angaben in °) zum OK1/NL-Winkel von 107° (N: Patienten, bei denen Messwerte aller Zähne im UK vorhanden waren)

7 Literaturverzeichnis

1. Arai Y, Honda K, Iwai K, Shinoda K (2001) Practical model “3DX” of limited cone-beam X-ray CT for dental use. *International Congress Series* 1230:713–718
2. Artun J, Krogstad O (1987) Periodontal status of mandibular incisors following excessive proclination. A study in adults with surgically treated mandibular prognathism. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 91:225–232
3. Aziz T, Flores-Mir C (2011) A systematic review of the association between appliance-induced labial movement of mandibular incisors and gingival recession. *Aust Orthod J* 27:33–39
4. Ballrick JW, Palomo JM, Ruch E, Amberman BD, Hans MG (2008) Image distortion and spatial resolution of a commercially available cone-beam computed tomography machine. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 134:573–582
5. Bernimoulin J-P, Curilović Z (1977) Gingival recession and tooth mobility. *Journal of Clinical Periodontology* 4:107–114
6. Chrysanthakopoulos NA (2011) Aetiology and severity of gingival recession in an adult population sample in Greece. *Dent Res J (Isfahan)* 8:64–70
7. Cohnen M, Kemper J, Möbes O, Pawelzik J, Mödder U (2002) Radiation dose in dental radiology. *Eur Radiol* 12:634–637
8. Davies RM, Downer MC, Hull PS, Lennon MA (1974) Alveolar defects in human skulls. *Journal of Clinical Periodontology* 1:107–111
9. Dempster W, Adams WJ, Duddles RA (1963) Arrangement in the jaws of the roots of the teeth. *J Am Dent Assoc* 67:779–797
10. Dorfman HS (1978) Mucogingival changes resulting from mandibular incisor tooth movement. *Am J Orthod* 74:286–297
11. Edel A (1981) Alveolar bone fenestrations and dehiscences in dry Bedouin jaws. *J. Clin. Periodontol.* 8:491–499
12. Eickholz P, Hausmann E (2000) Accuracy of radiographic assessment of interproximal bone loss in intrabony defects using linear measurements. *Eur. J. Oral Sci.* 108:70–73
13. Evangelista K, Vasconcelos K de F, Bumann A, Hirsch E, Nitka M, Silva MAG (2010) Dehiscence and fenestration in patients with Class I and Class II Division 1 malocclusion assessed with cone-beam computed tomography. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 138:133.e1–133.e7
14. De Faria Vasconcelos K, Evangelista KM, Rodrigues CD, Estrela C, de Sousa TO, Silva MAG (2012) Detection of periodontal bone loss using cone beam CT and intraoral radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 41:64–69
15. Fuhrmann R (1996) Three-dimensional interpretation of periodontal lesions and remodeling during orthodontic treatment. Part III. *J Orofac Orthop* 57:224–237

16. Fuhrmann R, Wehrbein H, Langen HJ, Diedrich PR (1995) Assessment of the dentate alveolar process with high resolution computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 24:50–54
17. Garib DG, Henriques JFC, Janson G, de Freitas MR, Fernandes AY (2006) Periodontal effects of rapid maxillary expansion with tooth-tissue-borne and tooth-borne expanders: a computed tomography evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 129:749–758
18. Gorman WJ (1967) Prevalence and etiology of gingival recession. *J. Periodontol.* 38:316–322
19. Graber T, Vandarsdall R (eds) (1994) *Orthodontics: current principles and techniques* 2nd ed. Mosby-Year Book, St. Louis
20. Hassell TM (1993) Tissues and cells of the periodontium. *Periodontol.* 2000 3:9–38
21. Hausmann E, Allen K, Clerehugh V (1991) What alveolar crest level on a bite-wing radiograph represents bone loss? *J. Periodontol.* 62:570–572
22. Hell B, Berginski M (2009) Indikationen zur digitalen Volumentomographie (DVT) in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. *Digital_DentalNews* 6–15
23. Hickey BM, Schoch EA, Bigeard L, Musset AM (2010) Complications following oral piercing. A study among 201 young adults in Strasbourg, France. *Community Dent Health* 27:35–40
24. Inchingolo F, Tatullo M, Abenavoli FM, et al. (2011) Oral Piercing and Oral Diseases: A Short Time Retrospective Study. *Int J Med Sci* 8:649–652
25. Ising N, Kim KB, Araujo E, Buschang P (2012) Evaluation of dehiscences using cone beam computed tomography. *The Angle Orthodontist* 82:122–130
26. Jorgić-Srdjak K, Plancak D, Bosnjak A, Azinović Z (1998) Incidence and distribution of dehiscences and fenestrations on human skulls. *Coll Antropol* 22 Suppl:111–116
27. Joss-Vassalli I, Grebenstein C, Topouzelis N, Sculean A, Katsaros C (2010) Orthodontic therapy and gingival recession: a systematic review. *Orthod Craniofac Res* 13:127–141
28. Kakehashi S, Baer PN, White CL (1963) Comparative pathology of periodontal disease. I. Gorilla. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 16:397–406
29. Källestål C, Uhlin S (1992) Buccal attachment loss in Swedish adolescents. *Journal of Clinical Periodontology* 19:485–491
30. Kassab MM, Cohen RE (2003) The etiology and prevalence of gingival recession. *The Journal of the American Dental Association* 134:220–225
31. Khocht A, Simon G, Person P, Denepitiya JL (1993) Gingival recession in relation to history of hard toothbrush use. *J. Periodontol.* 64:900–905
32. Klingberg M (2008) Die Abbildungsqualität des digitalen Volumentomographen 3DX im Vergleich zum konventionellen Panoramaschichtgerät. Medizinische Fakultät Charité - Universitätsmedizin Berlin, Berlin

33. Kramer E (ed) (2009) Prophylaxefibel: Grundlagen zur Zahngesundheit 10. Ed. Deutscher Ärzteverlag, Köln
34. Larato DC (1970) Alveolar plate fenestrations and dehiscences of the human skull. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 29:816–819
35. Lehmann KM, Hellwig E (eds) (2005) Zahnärztliche Propädeutik 10. Ed. Elsevier, München
36. Lemkamp M, Filippi A, Berndt D, Lambrecht JT (2006) Diagnostic possibilities of digital volume tomography. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 116:645–653
37. Liang X, Jacobs R, Hassan B, et al. (2010) A comparative evaluation of Cone Beam Computed Tomography (CBCT) and Multi-Slice CT (MSCT) Part I. On subjective image quality. *Eur J Radiol* 75:265–269
38. Lindhe J, Hamp S-E, Löe H (1973) Experimental periodontitis in the Beagle dog. *Journal of Periodontal Research* 8:1–10
39. Lindhe J, Hamp S-E, Löe H (1975) Plaque induced periodontal disease in beagle dogs. *Journal of Periodontal Research* 10:243–255
40. Lindhe J, Karring T, Lang NP (eds) (1999) *Klinische Parodontologie und Implantologie* 1. Ed. Quintessenz, Berlin
41. Löe H, Anerud A, Boysen H (1992) The natural history of periodontal disease in man: prevalence, severity, and extent of gingival. *UK PubMed Central*. 1992 63:489–495
42. Löe H, Theilade E, Jensen SB (1965) Experimental Gingivitis in Man. *Journal of Periodontology* 36:177–187
43. Lorenzoni DC, Bolognese AM, Garib DG, Guedes FR, Sant’anna EF (2012) Cone-beam computed tomography and radiographs in dentistry: aspects related to radiation dose. *Int J Dent* 2012:813768
44. Melsen B, Allais D (2005) Factors of importance for the development of dehiscences during labial movement of mandibular incisors: A retrospective study of adult orthodontic patients. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 127:552–561
45. Mengel R, Candir M, Shiratori K, Flores-de-Jacoby L (2005) Digital volume tomography in the diagnosis of periodontal defects: an in vitro study on native pig and human mandibles. *J. Periodontol.* 76:665–673
46. Mengel R, Kruse B, Flores-de-Jacoby L (2006) Digital volume tomography in the diagnosis of peri-implant defects: an in vitro study on native pig mandibles. *J. Periodontol.* 77:1234–1241
47. Misch KA, Yi ES, Sarment DP (2006) Accuracy of cone beam computed tomography for periodontal defect measurements. *J. Periodontol.* 77:1261–1266
48. Modéer T, Odenrick L (1980) Post-treatment periodontal status of labially erupted maxillary canines. *Acta Odontol. Scand.* 38:253–256

49. Mol A (2004) Imaging methods in periodontology. *Periodontol.* 2000 34:34–48
50. Mol A, Balasundaram A (2008) In vitro cone beam computed tomography imaging of periodontal bone. *Dentomaxillofac Radiol* 37:319–324
51. Molen AD (2010) Considerations in the use of cone-beam computed tomography for buccal bone measurements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 137:130–135
52. Moskow BS, Bressman E (1965) Localized gingival recession. Etiology and treatment. *Dent Radiogr Photogr* 38:3–8
53. Müssig E, Wörtche R, Lux CJ (2005) Indications for Digital Volume Tomography in Orthodontics. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie* 66:241–249
54. Naito T, Hosokawa R, Yokota M (1998) Three-dimensional alveolar bone morphology analysis using computed tomography. *J. Periodontol.* 69:584–589
55. Nauert K, Berg R (1999) Evaluation of labio-lingual bony support of lower incisors in orthodontically untreated adults with the help of computed tomography. *J Orofac Orthop* 60:321–334
56. Newman MG, Takei HH, Carranza F (eds) (2002) Carranza's Clinical Periodontology 9. ed. W. B.Saunders & Co, Philadelphia
57. Nimigean VR, Nimigean V, Bencze MA, Dimcevici-Poesina N, Cergan R, Moraru S (2009) Alveolar bone dehiscences and fenestrations: an anatomical study and review. *Rom J Morphol Embryol* 50:391–397
58. Otto C (2012) Untersuchungen dreidimensionaler DVT Datensätze im Vergleich mit zweidimensionalen OPTG Aufnahmen in der zahnmedizinischen Routine Diagnostik - eine retrospektive Studie-. Hohe Medizinische Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn
59. Ozmeric N, Kostiouchenko I, Hägler G, Frentzen M, Jervøe-Storm P-M (2008) Cone-beam computed tomography in assessment of periodontal ligament space: in vitro study on artificial tooth model. *Clin Oral Investig* 12:233–239
60. Pasler FA, Visser H (eds) (2000) Zahnmedizinische Radiologie: bildgebende Verfahren 2. Ed. Thieme, Stuttgart
61. Patel A, Sandler J (2009) Guidelines to Radiography in Orthodontics. *Informationen aus Orthodontie & Kieferorthopädie* 41:51–60
62. Persson RE, Hollender LG, Laurell L, Persson GR (1998) Horizontal alveolar bone loss and vertical bone defects in an adult patient population. *J. Periodontol.* 69:348–356
63. Pistorius A, Patrosio C, Willershausen B, Mildemberger P, Rippen G (2001) Periodontal probing in comparison to diagnosis by CT-scan. *Int Dent J* 51:339–347
64. Pulsfort R (2009) Geometrische Genauigkeit eines neu entwickelten digitalen Volumentomografie-Gerätes für die maxillofaziale Bildgebung. Hohe Medizinische Fakultät der Universität zu Köln, Köln

65. Ramadan AB, Mitchell DF (1962) A roentgenographic study of experimental bone destruction. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 15:934–943
66. Rees TD, Biggs NL, Collings CK (1971) Radiographic interpretation of periodontal osseous lesions. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 32:141–153
67. Ruf S, Hansen K, Pancherz H (1998) Does orthodontic proclination of lower incisors in children and adolescents cause gingival recession? *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 114:100–106
68. Rupprecht RD, Horning GM, Nicoll BK, Cohen ME (2001) Prevalence of dehiscences and fenestrations in modern American skulls. *J. Periodontol.* 72:722–729
69. Sangnes G, Gjermo P (1976) Prevalence of oral soft and hard tissue lesions related to mechanical toothcleansing procedures. *Community Dentistry and Oral Epidemiology* 4:77–83
70. Schwenzer N, Ehrenfeld M (eds) (2008) *Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde Chirurgische Grundlagen* 4. Ed. Thieme, Stuttgart
71. Serino G, Wennström JL, Lindhe J, Eneroth L (1994) The prevalence and distribution of gingival recession in subjects with a high standard of oral hygiene. *Journal of Clinical Periodontology* 21:57–63
72. Slutzkey S, Levin L (2008) Gingival recession in young adults: occurrence, severity, and relationship to past orthodontic treatment and oral piercing. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 134:652–656
73. Stahl S, Cantor M, Zwig F (1963) Fenestration of the labial alveolar plate in human skulls. *Periodontics* 1:99–102
74. Tenenbaum H (1982) A clinical study comparing the width of attached gingiva and the prevalence of gingival recessions. *Journal of Clinical Periodontology* 9:86–92
75. Tsunori M, Mashita M, Kasai K (1998) Relationship between facial types and tooth and bone characteristics of the mandible obtained by CT scanning. *Angle Orthod* 68:557–562
76. Tugnait A, Clerehugh V, Hirschmann PN (2000) The usefulness of radiographs in diagnosis and management of periodontal diseases: a review. *J Dent* 28:219–226
77. Urbani G, Lombardo G, Filippini P, Nocini FP (1991) Dehiscence and fenestration: study of distribution and incidence in a homogeneous population model. *Stomatol Mediterr* 11:113–118
78. Valderhaug J (1980) Periodontal conditions and carious lesions following the insertion of fixed prostheses: a 10-year follow-up study. *Int Dent J* 30:296–304
79. Valderhaug J, Birkeland JM (1976) Periodontal conditions in patients 5 years following insertion of fixed prostheses. Pocket depth and loss of attachment. *J Oral Rehabil* 3:237–243

80. Vandenberghe B, Jacobs R, Yang J (2007) Diagnostic validity (or acuity) of 2D CCD versus 3D CBCT-images for assessing periodontal breakdown. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 104:395–401
81. Völk W, Mierau HD, Biehl P, Dornheim G, Riethmayer C (1987) Etiology of wedge-shaped defects. *Dtsch Zahnärztl Z* 42:499–504
82. Wehrbein H, Bauer W, Diedrich P (1996) Mandibular incisors, alveolar bone, and symphysis after orthodontic treatment. A retrospective study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 110:239–246
83. Wehrbein H, Fuhrmann RA, Diedrich PR (1995) Human histologic tissue response after long-term orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 107:360–371
84. Wennström JL, Lindhe J, Sinclair F, Thilander B (1987) Some periodontal tissue reactions to orthodontic tooth movement in monkeys. *J. Clin. Periodontol.* 14:121–129
85. Wolf HF, Rateitschak KH (eds) (2004) *Farbatlant der Zahnmedizin. 1. Parodontologie* 3. Ed. Georg Thieme Verlag, Stuttgart
86. Yagci A, Veli I, Uysal T, Ucar FI, Ozer T, Enhos S (2012) Dehiscence and fenestration in skeletal Class I, II, and III malocclusions assessed with cone-beam computed tomography. *Angle Orthod* 82:67–74
87. Yared KFG, Zenobio EG, Pacheco W (2006) Periodontal status of mandibular central incisors after orthodontic proclination in adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 130:6.e1–8
88. Yoneyama T, Okamoto H, Lindhe J, Socransky SS, Haffajee AD (1988) Probing depth, attachment loss and gingival recession. *Journal of Clinical Periodontology* 15:581–591
89. Ziegler CM, Woertche R, Brief J, Hassfeld S (2002) Clinical indications for digital volume tomography in oral and maxillofacial surgery. *Dentomaxillofac Radiol* 31:126–130
90. Zöller JE (ed) (2007) *Digitale Volumentomographie in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde: Grundlagen, Diagnostik und Behandlungsplanung* 1. Ed. Quintessenz, Berlin

8 Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1: Zahnaufbau¹

Abb. 2.2: Parodontale Strukturen²

Abb. 2.3: Arten von Knochentaschen³

Abb. 2.4: Darstellung der Knochendefekte Dehiszenz und Fenestration

Abb. 2.5: Funktionsprinzip des DVTs⁴

Abb. 3.1: Digitaler Volumentomograph Veraviewepocs 3D von J. Morita⁵

Abb. 3.2: Laserlichtvisier des digitalen Volumentomographs Veraviewepocs 3D, mit dem der Patientenkopf in seine Referenzpositionen ausgerichtet wird⁶

Abb. 3.3: Vorgehensweise beim Laden der DVT-Bilder in die 3D Volume Rendering-Funktion mit der Software Osirix

Abb. 3.4: Vermessen der Dehiszenzen und Fenestrationen mittels der Software Osirix in der 3D Volume Rendering-Funktion

Abb. 3.5: Vorgehensweise bei der Umwandlung der DVT-Bilder in zweidimensionale Lateralbilder mittels der Software OnDemand3D

Abb. 3.6: Vermessung des OK-Frontzahninklinationswinkels OK1/NL mittels der Software OnDemand3D

¹ Putz R, Pabst R (2004) Sobotta. Urban & Fischer, München Jena, Seite 99, mit freundlicher Genehmigung von Urban & Fischer

² Wolf HF, Rateitschak-Plüss EM, Rateitschak KH (2003) Farbatlanten der Zahnmedizin 1 Parodontologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, Seite 7, mit freundlicher Genehmigung von Georg Thieme Verlag

³ Sato N (2009) Parodontalchirurgie Klinischer Atlas. Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin, Seite 152, mit freundlicher Genehmigung von Quintessenz Verlags-GmbH

⁴ Rother UJ (2006) Moderne bildgebende Diagnostik in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. Urban & Fischer, München Jena, Seite 47, mit freundlicher Genehmigung von Urban & Fischer

⁵ J. Morita Europe GmbH, <http://www.jmoritaeurope.de/de/produkte/geraete-fuer-diagnostik-und-bildgebung/veraviewepocs-2d/1040/>, abgerufen 14.01.2013, Dietzenbach, Germany, mit freundlicher Genehmigung von J. Morita Europe GmbH

⁶ J. Morita Europe GmbH, <http://www.jmoritaeurope.de/de/produkte/geraete-fuer-diagnostik-und-bildgebung/veraviewepocs-2d/1040/>, abgerufen 14.01.2013, Dietzenbach, Germany, mit freundlicher Genehmigung von J. Morita Europe GmbH

Abb. 3.7: Darstellung der zur Vermessung wichtigen Punkte und Strecken: S-Z-G: Schmelz-Zement-Grenze, ZK: Zahnkrone, W: Wurzel, ZA: Zahnachse, WS: Wurzelspitze

Abb. 3.8: Der OK-Frontzahninklinationswinkel OK1/NL

Abb. 4.1: Verteilungskuchen zur Darstellung der Verteilung der Patienten anhand ihres Differenzwertes zum OK1/NL-Winkel von 107° (Angaben in Prozent)

Abb. 4.2: Einordnung der Dehiszenzen im OK in die Zahngruppen (Angaben in cm)

Abb. 4.3: Einordnung der Dehiszenzen im UK in die Zahngruppen (Angaben in cm)

Abb. 4.4: Verteilungskuchen zum Vorkommen von Fenestrationsen ($N > 0$: Fenestration vorhanden, $N = 0$: keine Fenestration)

Abb. 4.5: Einordnung der Fenestrationsen im OK in die Zahngruppen (Angaben in cm)

Abb. 4.6: Einordnung der Fenestrationsen im UK in die Zahngruppen (Angaben in cm)

Abb. 4.7: Dehiszenzen im OK und UK (Angabe in cm) nach verschiedenen Altersgruppen (Angabe in Jahren)

Abb. 4.8: Dehiszenzen im OK und UK (Angaben in cm) nach Geschlechtern (Angaben in männlich, weiblich)

Abb. 4.9: Einordnung der Dehiszenzen (Angaben in cm) im OK und UK in die Zahngruppen von OK und UK

Abb. 4.10: Einordnung des Mittelwerts der Dehiszenzen von OK und UK zusammen (Angaben in cm) in die festgelegten Differenzintervalle (Angaben in $^\circ$) zum OK1/NL-Winkel von 107°

Abb. 4.11: Einordnung der Dehiszenzen im OK (Angaben in cm) in die festgelegten Differenzintervalle (Angaben in $^\circ$) zum OK1/NL-Winkel von 107°

Abb. 4.12: Einordnung der Dehiszenzen im UK (Angaben in cm) in die festgelegten Differenzintervalle (Angaben in $^\circ$) zum OK1/NL-Winkel von 107°

9 Danksagung

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. Jörg Lisson für die Überlassung des Dissertationsthemas, für seine freundliche und zeitnahe Unterstützung und die kompetente Beratung bei der Anfertigung dieser Arbeit.

Ebenfalls herzlich bedanken möchte ich mich bei Herrn Dr. Björn Ludwig und Herrn Dr. Heiko Goldbecher für die Bereitstellung der digitalen Volumentomographien, ohne die die Durchführung dieser Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Frau Dr. Constanze Mayer spreche ich meinen Dank für die gute und zeitnahe Betreuung beim Verfassen der Arbeit aus.

Bei Frau Dr. Tanja Kottmann möchte ich mich für die Betreuung bei der Auswertung des statistischen Teils dieser Arbeit bedanken.

Schließlich danke ich auch meinen Eltern Edith und Hermann Hähl und meinem Bruder Dr. Hendrik Hähl für ihre Geduld und ihre liebevolle Motivation und Unterstützung während meines Studiums und bei der Anfertigung dieser Arbeit.